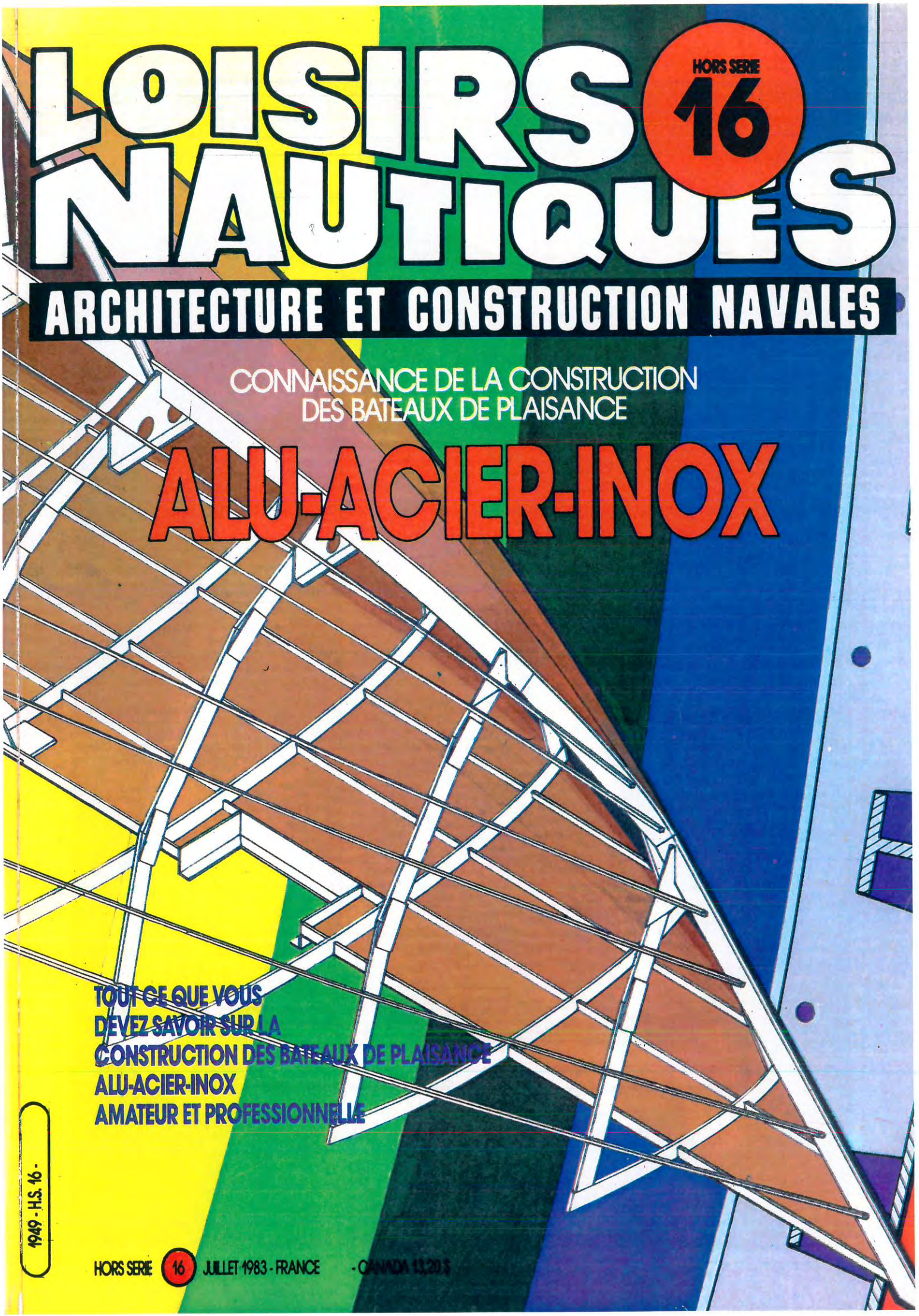
LOISIRS NAUTIQUES

HORS SERIE 16

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION NAVALES

CONNAISSANCE DE LA CONSTRUCTION
DES BATEAUX DE PLAISANCE

ALU-ACIER-INOX

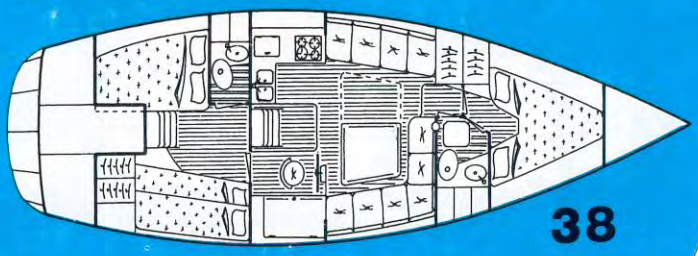


TOUT CE QUE VOUS
DEVEZ SAVOIR SUR LA
CONSTRUCTION DES BATEAUX DE PLAISANCE
ALU-ACIER-INOX
AMATEUR ET PROFESSIONNELLE

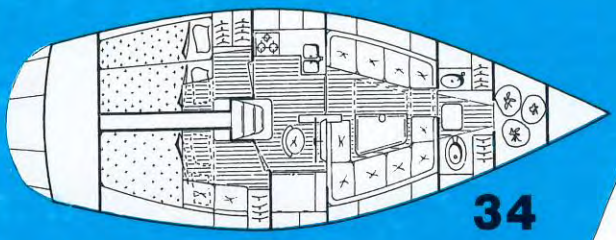
1949 - H.S. 16 -

HORS SERIE 16 JUILLET 1983 - FRANCE - CANADA 13,20 $

JNF 38 ~ JNF 34



38



34

CARACTERISTIQUES

	38	34
Longueur	11,95	10,75
Long. Flot.	10,00	8,87
Largeur	3,82	3,60
T. Eau	1,10	1,05
	2,45	2,20
Poids	102 00	65 00
Lest	3 400	2 200
Génois	49,50	40,50
Gd Voile	33,00	24,50

Michel JOUBERT. Une longue expérience de l'architecture navale et une bonne connaissance des voiliers de voyage.

Bernard NIVELT. Une rigueur mathématique et informatique, vérifiée par les nombreux succès des machines de course du tandem JOUBERT - NIVELT, mise au service des voiliers de croisière pour éliminer toute improvisation.

Joseph FRICAUD. Une remarquable connaissance de la construction métallique. Son chantier META d'où sont sortis les "JOSHUA, DAMIEN, DALU" a acquis une réputation internationale que tout le monde lui envie.

Ces trois spécialistes se sont associés pour élaborer des dossiers de plans remarquablement complets pour la construction amateur de vrais bateaux de voyage en acier.

Michel JOUBERT
L'Aubreçay - Saint-Xandre
17138 PUILBOREAU - Tél. (46) 37.40.58

Joseph FRICAUD
META
B.P. 109 - 69170 TARARE - Tél. (74) 63.13.58

TOUT SUR LE PONT,

COMMENT ÉQUIPER SOI-MÊME SON BATEAU

Hors-série **15**

INTRODUCTION
- L'accastillage à travers les âges
- Les bateaux modernes
- Les différents gréements

I - MATS et ESPARS

1° Fabrication et matériaux
- Espars en alliage
- Espars en bois (réalisation amateur)
- Espars en matériaux synthétiques
- Espars des bateaux de course modernes

2° Accastillage de mât (et sa fixation)
- Tête de mât (*)
- Fixation des haubans (*)
- Barres de flèche
- Vit-de-mulet
- Rail de tangon
- Support de winch(*)
- Pied de mât (*)
- Cadènes
- Echelons de mât (*)

3° Accastillage de bôme
- Prise de ris classique
- Bôme à rouleau
- Bôme de trinquette

4° Tangon
- Fixation au mât
- Fixation sur le pont
- Jockey pull

II - GREEMENTS

1° Gréement dormant
- Différents types (1 ou 2 étages, etc.)
- Câble
  - — inox souple
  - — inox monotoron
  - — inox en barre
  - — galva
  - — ridoirs (et leur cardan)
- Terminaison
  - — serre câble
  - — serti (sarma)
  - — taburit
  - — Norseman
- le gréement du Vagabond
- l'outillage du gréement

2° Gréement courant
- Drisse
  - — textile
  - — mixte (réalisation d'une greffe)
- Ecoutes

III - EQUIPEMENT DE PONT

1° Winch
- choix
- self tailing
- wincheur
- pose

2° Pouliage
- grand-voile
- génois
- spi

3° Coinçage (choix et pose)
- clam cleat
- coinceur
- coinceur à excentrique
- bloqueur

4° Enrouleur de foc
- choix
- pose
- utilisation

5° Aération - Eclairage
- panneaux de pont
- hublots (fixation)
- boîte dorade

6° Balcons et chandeliers
- balcons avant
- balcons arrière
- balcons de mât
- filières
- lignes de vie

7° Divers

IV - MOUILLAGE ET AMARRAGE

1° Mouillage
- technique de mouillage
- ancre
- chaîne
- guindeau
- davier d'étrave (*)
- bitte
- écubier

2° Amarrage
- technique de l'amarrage
- chaumards et leur positionnement
- choix des aussières

(*) Réalisation amateur (plan détaillé)

Que trouverez-vous dans ce hors-série 15 : c'est simple, tout ce qui dépasse du pont du bateau, c'est-à-dire le mât et son gréement, l'accastillage, l'aération, l'antidérapant, etc., sauf les voiles qui feront l'objet d'un autre ouvrage.

Quand on prépare une unité de haute mer, on pense souvent aux aménagements et malheureusement pas assez au plan de pont et si les heures que l'on passe dehors sont plus faibles que celles où l'on est au chaud dedans, celles-ci comptent triple et il est dommage de gâcher une croisière simplement parce que l'accastillage a été mal pensé.

Le pont est un endroit où l'improvisation se paie cher, car les efforts mis en jeu sur un voilier sont considérables. Imaginez simplement le dégât que peut faire un winch qui s'arracherait, tiré par un effort d'une tonne sur l'écoute, il vaut mieux ne pas être sur la trajectoire...

Pour concevoir un plan de pont bien adapté à une navigation quelle qu'elle soit, il faut avoir beaucoup navigué et sur beaucoup de bateaux différents afin de se forger une idée bien nette de ce que l'on désire, mais malheureusement, beaucoup de jeunes qui se lancent dans la grande aventure de la construction d'un voilier ou plus simplement dans l'équipement d'une coque nue, ont peu ou pas du tout navigué.

Pour tout cela, nous espérons que ce hors-série sera un outil précieux qui leur permettra d'éviter quelques erreurs qui peuvent être graves à l'usage. Car des erreurs, il y en a, même sur certains bateaux de série.

Pour nous qui aimons les bateaux faits pour aller loin, notre langue n'est pas la même et la sécurité passe en premier même si les performances doivent en pâtir un peu.

Mais nous parlons aussi pour des gens pour qui « ***un sou est un sou*** », et pour eux, le bateau n'est pas qu'un chèque à signer, et c'est pour cela que dans toutes les solutions, nous étudierons toujours la plus économique (et vous verrez que c'est bien souvent la meilleure).

Tout au long du hors série, l'accent a été porté sur le côté pratique et sauf pour la mécanique des mâts, nous avons évité les études théoriques poussées qui ne mènent pas à grand-chose et nous leur préférons l'expérience.

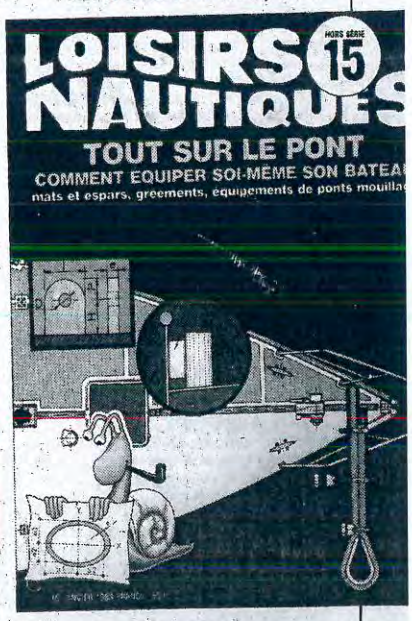
Bien sûr, les bateaux évoluent et depuis quelques années, beaucoup de choses ont changé. On a vu les voiles à enrouleurs envahir nos étais et nos mâts et il est fort à croire que ce n'est qu'un début. Quelques mâts ont aussi perdu leurs haubans pour devenir des « ***gréements libres*** ». Pour l'instant, ils ne font que pointer leur nez, mais d'ici dix ans, on rigolera en voyant un foc et une grand-voile envoyés sur un mât solidement haubané. Mais qu'on se rassure, nos mâts tiennent encore bon et avec leurs haubans ils ont encore de beaux jours et au moins ils permettent de faire du vrai près et c'est pourquoi nous leur consacrons une bonne partie de ce « hors-série ». Bien sûr, les gréements de demain ont aussi leur part dans ces pages.

Souvent, vous pourrez voir que nous avons fait référence à des unités de course connues, c'est normal car sur les ponts de nos bateaux **tout** vient de la course, que ce soit les winches, les rails d'écoute, les poulies, etc., et si aujourd'hui peu de mâts de bateaux de croisière tombent sur la tête de leur skipper, c'est grâce à des voiliers de course qui ont cassé le leur. Chaque transat en solitaire, chaque course autour du monde, chaque régate apporte sa moisson d'expériences. Aujourd'hui, la quasi totalité des unités de course ont abandonné les gréements en tête pour des raisons bien évidentes que nous étudierons plus loin, eh bien vous verrez d'ici quelque temps que les bateaux de croisière passeront eux aussi aux gréements fractionnés, bien sûr en plus fiable que sur les bateaux de course, mais vous verrez ! La course est un banc d'essai fantastique et tout amateur de croisière doit se sentir concerné par elle.

Ce hors série 15 sera susceptible d'intéresser aussi les possesseurs de bateaux à moteur, car, si bien sûr les chapitres concernant la propulsion douce ne les concernent pas directement, un bateau à moteur possède lui aussi un mouillage, lui aussi s'amarre à un quai et a besoin d'antidérapant.

H. et V. THERON

SI VOUS NE POUVEZ VOUS LE PROCURER CHEZ VOTRE MARCHAND DE JOURNAUX HABITUEL COMMANDEZ-LE A « LOISIRS NAUTIQUES » (voir bon de commande fin de ce numéro)



sommaire

COMMISSION
PARITAIRE
DE PRESSE
N° 50143

LOISIRS NAUTIQUES 71, rue Amédée St-Germain - 33800 BORDEAUX FRANCE Tél. (56) 91.10.40 et 91.11.02

Directrice Rédactrice en chef :
Manon BARAILLE
Collaborateurs généraux : ext.
Jean-François AUMAITRE, Alain BANNWARTH, Michel BARRAULT, J.-Pierre BOISSEAU, Jean-Pierre DANTZER, Bernard DENIZOT, Eric DESSANDIER, Philippe FESSARD, Jean-Louis FOURNIER, Guy FOURNIE, Jean-Marie GIRAUD, Georges HERVO, Gérard JANICHON, Jacques KREITMANN, Erwan LARHER, Gérard LEGRAND, Jean-Jacques MALY, Marc PHILIPPE, Paul MORLION, Annette PINCHEDEZ, Jean-Luc ROUX, Véronique THERON, Henri VAGNON.
Collaborateurs architectes navals : etc.
Daniel BOMBIGHER, Jean-Pierre BROUNS, Noël CARRERE, Gilbert CAROFF, François CHARPENTIER, Claude CONSTANT-SAINDON, Jean HOUILLE, Peter IBOLD, Michel JOUBERT, Dimitri LE FORESTIER, Erick LEROUGE, Henri MONCEY, César ORSINI, Didier PRESLE, Dominique PROVIN. Otto RANCHI, Jacques ROUSSEAU, Guy SAILLARD, François SERGENT, Marcel SUBRERO, Philippe SUBRERO, Bernard VEYS, Jean-Pierre VILLENAVE.
Collaborateurs, ingénieurs, techniciens et experts :
Alain BOT, Jean-Pierre CIAIS, Noël CARRERE, Alain DUPUIS, Cyril GRANDPIERRE, Gérard GUIRIEC, Pierre LAVAL, Max POUPART, Claude QUIL.

PROPRIETAIRE DE PUBLICATION :
Editeur : Manon Baraille
Diffusion NMPP et HACHETTE
Dépôt légal N° 1602, décembre 82
• **LOISIRS NAUTIQUES**
• **VOILE MOTONAUTISME**
• **ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION NAVALES**
• **DU KIT A LA COQUE NUE A LA BARRE EN MAIN**
sont des marques déposées.

• La reproduction même partielle des textes et illustrations est formellement interdite. La photocopie des articles est également interdite sans accord préalable de la direction de Loisirs Nautiques.
(C) 83 LOISIRS NAUTIQUES
Tous droits réservés tous pays.
• Les documents, plans techniques d'architectes, schémas et rédactionnel n'ont qu'un intérêt indicatif et n'engagent en aucune façon la responsabilité de Loisirs Nautiques.
• Les documents non insérés ne sont pas rendus. Délai minimum d'insertion des documents à paraître dans le numéro en cours, 60 jours le 10 du mois. Les documents insérés ne sont pas rendus, sauf accord préalable écrit de Loisirs Nautiques. Les documents et écrits non parus ne sont pas pigés.
• Loisirs Nautiques n'est pas responsable des écrits qui lui sont envoyés, ils sont sous la seule responsabilité de leurs auteurs. Les citations de marques et adresses qui figurent dans les rédactionnels sont données à titre d'information sans aucun but publicitaire.
• Mise en page Loisirs Nautiques/SAJIC
• Photogravure couleurs :
Sigma Color Paris.
Photocomposition COMPUGRAPHIC et impression Imprimerie S.A.J.I.C. 16004 Angoulême - Charente.

numéro H.S.
16

© Loisirs Nautiques 83
Reproduction même partielle de ce numéro interdite pour tous pays sans accord préalable écrit de la direction de Loisirs Nautiques.
Tous droits réservés.
Les photocopies sont strictement interdites.

Par
Gilbert CAROFF
(dessins de l'auteur)

Une réalisation de l'équipe de « Loisirs Nautiques »



A — LES ALLIAGES D'ALUMINIUM

1 — Historique
2 — Les minerais d'aluminium
3 — Fabrication de l'aluminium à partir de la bauxite
4 — Fabrication de l'aluminium par électrolyse
5 — Demi-produits
6 — Techniques pour l'avenir ?
7 — Désignations et normalisation
8 — Analyse physique et chimique
9 — Classification et état de l'aluminium et alliages
10 — Traitements thermiques
11 — Indications d'emploi
12 — La mise en œuvre, généralités
13 — Le chaudronnage
14 — Assemblages - rivetage
15 — Le soudage
16 — Alliages les plus courants en construction navale
17 — Caractéristiques des alliages de construction navale
18 — Dimensions des produits de construction navale
19 — La corrosion des alliages d'aluminium
20 — Protection contre la corrosion et peintures
21 — Généralités sur la conception du bateau en aluminium
22 — Principaux types de structures
23 — Exemples de structures et d'échantillonnages
24 — « Leur opinion »
25 — Alliages de fonderie
26 — Les pièces fondues
27 — Les espars
28 — L'anodisation
29 — Kit et coque pontée
30 — Un pont en bois ou habillé de bois
31 — Le collage d'un revêtement de pont
32 — L'entretien
33 — La réparation
34 — La construction individuelle en aluminium
35 — Le dériveur en acier
— conception
— le puits de dérive
— l'entretien
— courbes de stabilité

B — LES ACIERS INOXYDABLES Pag 126

1 — Généralités
2 — Désignations des aciers inoxydables aptes à la construction navale
3 — La corrosion
4 — Aciers inoxydables, actifs, passifs
5 — Mise en œuvre des aciers inoxydables
6 — Notions sur le soudage des aciers inoxydables
7 — Soudage des différentes familles d'inox
8 — Décapage
9 — Entretien de la surface d'un acier inoxydable
10 — La peinture ou le collage d'un revêtement sur l'inox
11 — Visserie, construction navale et corrosion
12 — « Uginox fluctuat » : l'inox et la construction navale

C — LES ACIERS DOUX Pag 146

1 — Généralités - fer - fonte - acier
2 — Histoire de l'acier - Méthodes modernes de fabrication
3 — Produits sidérurgiques, nuances - analyses
4 — Normes
5 — Caractéristiques mécaniques
6 — Traitements à froid et à chaud
7 — Mise en œuvre, outillage
8 — Assemblages
9 — Le soudage de l'acier
10 — La corrosion de l'acier
11 — Peinture - traitements anti-corrosion - galvanisation - métallisation
12 — La protection cathodique
13 — Aciers pour la construction navale de plaisance
14 — Produits sidérurgiques et transformés
15 — Aciers spéciaux
16 — La conception du bateau en acier
17 — Types de structures
18 — Exemples de structures et d'échantillonnages
19 — « Leur opinion »
20 — Un pont en bois sur une coque métallique
21 — Un pont métallique habillé de bois
22 — Le collage d'un revêtement de pont
23 — L'entretien
24 — La réparation
25 — Superstructures en aluminium sur coque en acier
26 — Un bateau d'occasion en acier doux
27 — Coque pontée, kit

D — MANUEL DE CONSTRUCTION AMATEUR ET ARTISANALE Pag 246

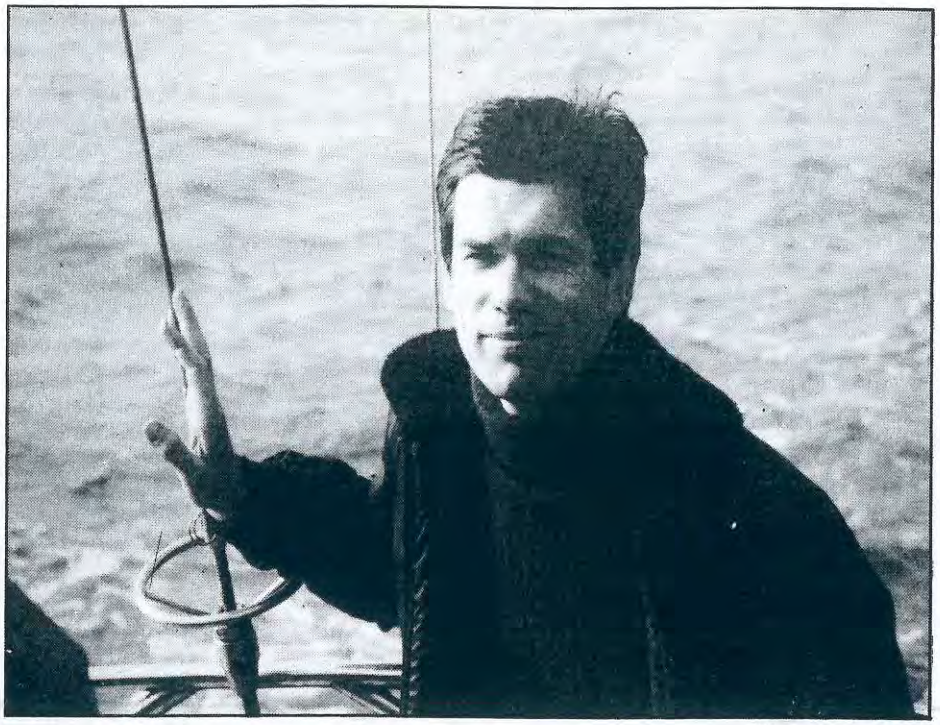
1 — Avant-propos 246
2 — Les plans 246
3 — Le service d'architecte 247
4 — Préparation du terrain 250
5 — Table de traçage 250
6 — Différents marbres 251
7 — Portique 254
8 — Vireurs 254
9 — Le tracé en grandeur 256
10 — Fabrication des coupes 259
11 — Le fer de quille 262
12 — Les lisses, leur réglage 262
13 — Les goussets 265
14 — Montage de la structure sur le marbre 265
15 — Bordage de la coque - le brion 268
16 — Le tableau arrière 274
17 — La quille 276
18 — Réservoir(s) en quille 279
19 — Lest et équilibrage du quillard 280
20 — Le gouvernail 281
21 — Le retournement, diverses techniques 293
22 — Structure du pont 295
23 — Le bordage du pont 296
24 — Le pavois 298
25 — Les varangues 301
26 — Découpes du pont 302
27 — Détails du pont - Embases d'accastillage 303
28 — Détails à l'intérieur de la coque 308
29 — Le moteur, sa mise en place 312
30 — Le cockpit 315
31 — Peinture, décoration, sablage 316
32 — Aménagement d'une coque en acier 318
33 — Isolation aération 322
34 — Electricité 323
35 — Le dériveur en acier 323
36 — conclusion 325

E — DES TECHNIQUES POUR DEMAIN Pag. 326

1 — Historique de la marine de plaisance en alliage d'aluminium
2 — Une expérience de construction amateur en aluminium
3 — Options de structures en aluminium
4 — Historique de la marine de plaisance en acier
5 — Options de structures en acier
6 — Un pont en inox sur une coque en acier doux
7 — Les aciers patinables cor-ten et indaten
8 — Le collage de l'aluminium
9 — Le collage des aciers
10 — Le nid d'abeille d'aluminium et le sandwich métallique
11 — « Profilen » - L'expérience suédoise
12 — Brisures arrondies
13 — Construction en panneaux galbés
14 — Aluminium fraisé et extrudé
15 — Aluminium expansé
16 — Le titane
17 — Le cupronickel
18 — Métaux et fibres de synthèse
19 — Les métaux de la pêche

« Le métal entretient avec le temps une conversation dramatique ou frivole. Ecailles imprévues, corruptions arbitraires et le rire du hasard qu'il faut interpréter ».

Michel BUTEL



Gilbert CAROFF

LE métal affronte la lumière pourpre des soleils couchants, défie les brûlures des midis tropicaux, toise les glaces tranchantes des nords gelés, rivalise avec les crêtes déferlantes des océans en folie.

L'acier défie les rocs ;

L'aluminium bondit vers la victoire ;

L'inox tutoie l'éternité dans l'insolence de son éclat ;

Le cupro-nickel se moque des morsures du sel de la mer ;

Le titane s'élance, papillon aux ailes de trimaran.

Chaque métal a son image, son visage ; chacun reflète un tempérament, une personnalité qu'il faut comprendre pour composer avec lui. Chacun attache par ses qualités ou par ses faiblesses lorsqu'elles ne sont ni d'irréductibles tares ou d'hypocrites mensonges.

Apprendre ces caractères est la clef de la passion en laquelle on peut entrer avec chacun de ces géants de force ou de souplesse.

Les apprendre afin de les aimer ensuite.

Abordez ces chapitres avec la curiosité du chat Minou, bondissez de ligne en ligne, d'étonnement en étonnement. Laissez-vous guider par les thèmes pratiques et chers à votre nécessité.

CHACUN de ces chapitres pourrait être développé et constituer à lui seul, une bibliothèque entière.

Cet ouvrage vous mène à l'essentiel.

Architecte débutant sa carrière, futur acquéreur d'un bateau métallique, propriétaire équipant une coque pontée, artisan entamant cette nouvelle spécialité, constructeur amateur, ce hors série répond aux questions sans les abstractions froides des textes réservés aux spécialistes.

Chaque métal a ses particularités liées directement à ses caractéristiques mécaniques. Chacun se travaille, en tenant compte à un moment ou un autre, de ses spécificités. Densité, résistances à la rupture, sous toutes ses formes, flexion, traction, rupture par fatigue, dureté, souda-

bilité, résistance à la corrosion influent chacune à son tour sur la conception, le calcul, la découpe, le formage, le soudage, l'équipement, l'entretien.

Les métaux ont ensemble la qualité d'une grande homogénéité dans leur assemblage. Les éléments de structure, les tôles de pont, de coque, les appendices, tous soudés entre eux, font un tout, travaillant en parfaite harmonie. Merveilleux corps humain complexe et singulier, mais quotidien et universel. L'étanchéité du système ne faillit que par les ouvertures qu'on y pratique et par la qualité du travail du soudeur. Jamais au sein du métal, on ne trouve la faille qui met en péril l'ouvrage. Les assemblages peuvent être d'une totale perfection, les joints soudés peuvent aussi être la source des pires déboires.

Contrairement à ce que certains croient encore, le travail des métaux ne s'adresse pas à des spécialistes confirmés. Nous avons, parmi nos lecteurs, toutes les professions du commerce, de l'enseignement, de la fonction publique, du voyage. Professions littéraires ou artistiques. Chacun a entamé son travail avec la même inquiétude, vite balayée par les premiers travaux d'approche, le travail de préparation d'un châssis de construction, la fabrication de la table à tracer, de l'enclume. L'obstacle qu'est la familiarisation avec le métal est aussitôt aplani. Avec le respect du métal, vient l'amour du matériau dans lequel le bateau qu'on espère tant, va être fait.

Le métal se fait respecter, car il impose les méthodes de sa transformation, perçage, découpe, soudage.

En échange, il offre sa totale honnêteté, prend la forme avec logique, sans fantaisie ni tromperie.

SEUL l'apprentissage du soudage est nécessaire. Pour le travail de l'acier, un bref apprentissage suffira que parachèveront les premiers travaux décrits plus haut. Par contre, la construction d'une coque en inox ou en aluminium, requiert une formation plus complète. Surtout l'aluminium, pour le travail duquel un stage de soudure est absolument nécessaire.

Aucun des trois métaux principaux, rencontrés en construction navale de plaisance de bateaux de moins de 25 mètres, n'est un monstre inabordable à moins de grands sacrifices. Les aciers doux, les aciers inoxydables, les alliages d'aluminium, trouveront le chemin de votre intérêt, de votre étonnement, de votre cœur. Vous entrerez en leur religion, passionné et conquis, délivré des appréhensions, sinon de la prudence nécessaire en tout.

C'est à ce voyage intérieur que vous convie ce hors série que j'ai pris le plus grand plaisir à réaliser avec l'équipe de Loisirs Nautiques, et nous restons le plus cordialement à votre disposition pour servir votre curiosité et votre besoin d'informations. Artisan ou particulier, l'amour et la connaissance des métaux, est au bout de ce court chemin. Venez.

Gilbert CAROFF

« Chaque amour impose une éthique nouvelle, particulière, singulière.

Aimer, c'est ne plus aimer, ne plus aimer rien, excepté l'être qu'on aime, qu'à force d'aimer on oublie, pour être sensible à un feu noir, dévorant, qui tout d'un coup a tout dérobé, le Monde, nous-même, et jusqu'à l'objet qui nous était destiné, et que tout nous livre.

L'amour est une éclipse totale, universelle, ou il n'est rien ».

Marcel JOUHANDEAU

« Le bateau est un admirable outil, à la fois poisson et oiseau.
Par le bateau, l'homme
sent l'eau et le vent
sur ses paumes : mais enfin
le bateau n'est pas à lui.
Il le répare, il l'aime, il le nomme :
mais il l'use et le laisse ».

Propos d'Alain, 1er octobre 1930

A

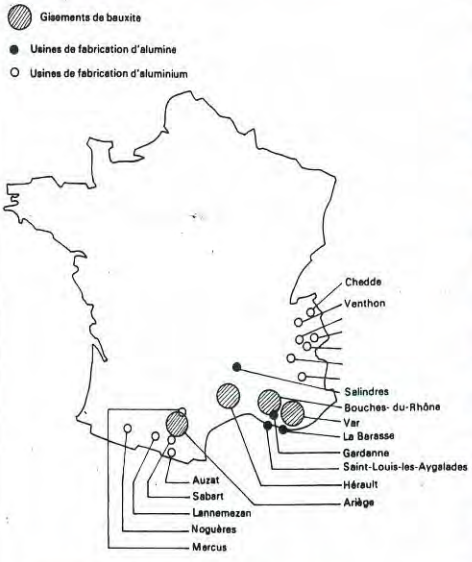
1 HISTORIQUE

L'histoire de l'aluminium remonte au début de notre dix-neuvième siècle, c'est dire la jeunesse de cette technologie si on considère que l'Age du Fer remonte à la Préhistoire ; celui du Bronze à deux mille ans avant *Jésus-Christ* ; celui du Fer à mille deux cents ans avant Jésus-Christ ; celui de l'Or à trois mille ans avant Jésus-Christ.

L'art de l'Or se confirme avec les Scythes en Europe Centrale et de l'Est (moins 3.000) ; l'art du Bronze avec les artisans « *Italiens* » (moins 2.000) ; l'art du Fer dans les Balkans (moins 1.200).

L'art de la pierre datait de moins 10.000 !

Croquis A 1 : ***Carte de la fabrication de l'aluminium***



Croquis A 2 : ***Carte des usines Péchiney de fabrication de l'aluminium***



L'art de la poterie de moins 6.000 !

Et il faut attendre 1827 pour que Wöhler isole l'aluminium par réaction du potassium sur le chlorure d'aluminium. L'aluminium se présente alors sous forme d'une poudre impure de couleur grise. En effet, l'aluminium n'existe pas à l'état de métal de façon naturelle. Il faut donc l'isoler dans le minerai. La présence de l'aluminium avait été découverte par le chimiste Davy dès 1807.

Sans doute fut-il isolé chimiquement par Oersted vers 1824.

Mais le chimiste allemand Woehler (ou Wöhler) a de façon certaine isolé l'aluminium en 1827. Woehler Frédéric (1800-1882) a effectué de nombreux travaux sur l'aluminium, le bore et le platine. Il a aussi réalisé vers 1827 la première synthèse organique, celle de l'urée.

Puis il faut attendre 1854 pour que Henri Sainte-Claire Deville (dit Henri Deville) trace la voie de la méthode de production par électrolyse. Cette méthode chimique était la réduction du « *chlorure double d'aluminium et de sodium* » par le « *sodium* ». La présence d'un fondant de l'aluminium permettait d'agglomérer les particules métalliques. Ce fondant était à l'origine de l'opération le Spath Fluor ($Ca F_2$). Puis ce fut la Cryolithe (ALF_3 Na F).

C'est à Paris, à l'usine de la Glacière que Henri Deville a commencé l'exploitation de l'aluminium. Il s'est ensuite installé à Nanterre.

Puis Henri Deville céda à Henri Merle la fabrication chimique de l'aluminium en 1859. L'usine où cette exploitation avait lieu se trouvait dans le Gard, à *Salindres*. Elle présidait à la naissance de la société actuellement connue sous le nom de *Compagnie Péchiney (Cegedur Péchiney)* qui exploita seule pendant une trentaine d'années cette méthode de production chimique de l'aluminium.

Production de l'usine Péchiney de Salindres

1860	506 kg
1864	1.100 kg
1881	2.000 kg
1889	2.960 kg

L'usine cessait son activité de production chimique de l'aluminium en 1889.

En effet, le Français *Paul Louis Toussaint Héroult* venait de déposer le premier brevet de procédé électrotechnique de production de l'aluminium, en même temps que l'Américain Charles Martin Hall. Cela se passait en 1886 et révolutionnait cette jeune technique, la faisant passer à son stade réellement industriel. C'était la naissance de la fabrication par électrolyse de l'alumine en dissolution dans la cryolithe fondue.

C'est encore le procédé utilisé pour produire de l'aluminium industriellement dans la mesure où les récentes tentatives non électrolytiques ne donnent pas des résultats compétitifs dans l'état actuel des besoins et des coûts de production.

C'est en Suisse, à *Neuhausen* que Paul Héroult crée sa première usine en 1887, et donne de ce fait naissance à l'aluminium suisse (Alu-Suisse). Aux Etats-Unis d'Amérique, Charles Martin Hall créait sa première unité de production en 1886 et 1887. En 1889, Paul Héroult créait l'usine de *Froges* (Société française Electro-Métallurgique), puis l'usine de *La Praz* en 1893.

• *Voyez la carte de France des usines.*

Tableau 1 :

PRODUCTION D'ALUMINIUM PAR LE PROCEDE HEROULT-HALL

(CHIFFRES DONNES EN TONNES)

Année	Monde	France Métropolitaine
1890	175	37
1900	5.500	900
1910	44.500	8.900
1920	120.000	12.500
1930	270.000	26.000
1940	807.500	62.000
1950	1.507.000	60.500
1960	4.635.000	235.000
1965	6.600.000	340.000
1970	8.600.000	380.000
1975	13.940.000	395.000

Il est intéressant de rapprocher ces chiffres de la consommation annuelle française d'aluminium sous forme de produits manufacturés :

1938	36.275 t
1950	75.000 t
1960	250.000 t
1965	290.000 t
1970	450.000 t
1975	591.000 t
1977	625.000 t

La France est donc largement importatrice. Il faut cependant mentionner la production réalisée par la France à l'étranger :

1940	6.000 t
1960	50.000 t
1965	75.000 t
1970	350.000 t
1975	580.000 t

Ce qui, pour 1970, par exemple, porte les chiffres à ces valeurs, pour la France Métropolitaine et la production française à l'étranger :

Production totale ..... 730.000 t
Consommation ..... 450.000 t

Tableau 2 :

LES EMPLOIS DE L'ALUMINIUM

(EN %)	1966	1977
Equipements de transport, véhicules	37,51	33,6
Construction mécanique	8,30	6,8
Architecture et bâtiment	8,32	10,6
Emballage, conditionnement	8,66	9,6
Utilisation domestique et de bureau	8,94	6,0
Sidérurgie, métallurgie	3,60	4,4
Divers	8,40	10,2
Grenailles, poudres	2,60	0,3
Chimie agro-alimentaire	1,94	2,1
Construction électrique	11,73	16,4

Le coût de l'aluminium s'abaisse proportionnellement à celui des autres métaux (acier, cuivre, inox, etc.).

Actuellement, après l'acier, c'est le moins cher.

En 1983, on peut compter à 4,5 FF le kilo d'acier doux (E.24) ; 19 FF le kilo d'aluminium (A G4 MC) ; 23 FF le kilo d'inox de qualité marine.

2

LES MINERAIS D'ALUMINIUM

L'aluminium s'obtient à partir de l'alumine qui est un des composants métalliques de minerais dont on l'isole par les moyens décrits et réalisés par Wohler, pour le procédé chimique ; par Deville pour la méthode chimique industrielle ; puis par Héroult et Hall pour la méthode par électrolyse.

L'alumine est un des composants de nombreuses espèces minérales : les feldspaths, les kaolins provenant de la décomposition feldspathique.

Les feldspaths sont des silico-aluminates de *cobalt* (K), *calcium* (Ca), *sodium* (Na).

Le kaolin (Al_2O_3. $2SiO_2$. $2H_2O$) est la décomposition de feldspath la plus utilisée.

L'alumine métal n'existe pas à l'état naturel.

Les minerais où il existe à l'état naturel d'oxyde, sont nombreux. Le plus courant est la bauxite.

En Allemagne, où le minerai bauxite n'existe pas, les chimistes et industriels ont tenté de l'extraire de roches composées d'un pourcentage d'alumine. Trop riches en silice et ne contenant que 18 à 20 % d'alumine, ces roches se sont révélées impropres à une exploitation rentable. Par contre, à un stade beaucoup plus artisanal, cette exploitation se maintient. C'est aussi le cas de l'exploitation, en Italie, de la leucite ($Al_2O_3.4Si\ 0_2.K_2O$) dont on peut rapprocher la composition chimique de celle du kaolin.

En U.R.S.S., on exploite encore un feldspath : la néphéline.

C'est cependant la bauxite le minerai le plus couramment utilisé pour l'extraction de l'alumine.

On notera que si l'alumine n'existe pas à l'état naturel dans la nature, il est très abondant dans l'écorce terrestre dont il occupe 8 %. L'oxygène représente 47 % de notre écorce terrestre ; le silicium 28 % ; le fer 5 % ; le magnésium 2 %.

LA BAUXITE

Ce minerai tire son nom des Baux de Provence, dans la région d'Arles.

C'est dans cette région que Berthier, minéralogiste français, né à Nemours (1782-1861), a découvert la bauxite et lui a donné ce nom. C'est une alumine hydratée dont il existe plusieurs variétés plus ou moins riches en impuretés et en alumine.

Les variétés de bauxite blanche sont riches en SiO_2 dont elles contiennent 12 %, et en alumine. Les industries des ciments, abrasifs, matériaux réfractaires les employent.

La bauxite rouge est la seule utilisée dans la fabrication de l'aluminium. Elle est riche en Fe_2O_3 mais pauvre en SiO_2. A titre d'exemple, cette composition chimique de bauxite de la région de l'Hérault :

Al_2O_3 ..... de 53 à 58 %
Fe_2O_3 ..... de 22 à 25 %
SiO_2 ..... de 4 à 8,5 %
TiO_2 ..... de 2,5 à 3,5 %
Taux d'humidité ..... de 5 à 11 %

Pertes en eau et gaz carbonique à 1.200 % : de 10 à 13 %.

La France vient après la *Jamaïque*, le *Surinam*, l'*U.R.S.S.*, l'*Australie* et la *Guyane Britannique* (anciennement), c'est-à-dire au sixième rang, pour la production mondiale de bauxite. En 1970, elle en a produit 2.700.000 tonnes environ. La production française est concentrée dans les mines de l'*Hérault* à *Bédarieux* et *Villeveyrac*, et du *Var* à *Tourves*, *Le Luc* et *Brignoles* ; l'exploitation se fait dans des mines à ciel ouvert. Le minerai est concassé puis transporté aux usines de traitement chimique après avoir été trié.

LA CRYOLITHE

Dans le passé, la cryolithe ($AlF_3.3NaF$), utilisée comme fondant de l'alumine (Al_2O_3) dans son traitement par électrolyse était d'origine minérale. La seule provenance était Ivigtut au *Groenland*.

Actuellement, la cryolithe utilisée est d'origine synthétique. Elle est obtenue par la réaction d'acide fluorhydrique sur la liqueur d'aluminate de soude. L'acide fluorhydrique est obtenu par attaque de CaF par SO_4H_2 et la liqueur d'aluminate est produite par le procédé Bayer dans deux usines françaises. Celle de *Salindres* pour le Groupe *Péchiney-Saint-Gobain* ; celle de *Pierre Bénite* pour le Groupe *Electrochimie-Ugine*. *(Croquis A 1 - A 2).*

3

FABRICATION DE L'ALUMINIUM A PARTIR DE LA BAUXITE

Procédé Deville-Pechiney

A l'usine de *Salindres*, la bauxite était frittée à 1.200° avec CO_3Na_2. Le produit était lessivé dans une eau légèrement sodique. Filtrée, la liqueur d'aluminate était alors saturée de gaz carbonique qui formait un précipité avec l'alumine hydratée. Ce procédé est tout à fait abandonné en France.

Procédé Pedersen

Ce procédé est originaire de Norvège. Un mélange de coke, chaux, minerai de fer et de bauxite est traité au four électrique. Puis on traite le laitier *« silico-aluminate de chaux »* par une solution diluée de NaOH et CO_3Na_2. La solution d'aluminate de soude est précipitée par du gaz carbonique.

D'autres procédés existent tels que le procédé Haglund. Dans ce cas, la bauxite est attaquée par FeS et carbone dans un four électrique. Aucun de ces procédés ne s'est avéré compétitif et n'a passé le stade artisanal, voire expérimental.

PROCEDE BAYER

Ce procédé est le plus utilisé à l'heure actuelle et on le retrouvera sans cesse dans l'étude des alliages d'aluminium. Il date de 1887 et nécessite un faible taux de silice dans les bauxites traitées. **Pour**

1.000 kg d'alumine, ce procédé (humide) nécessite :

2.500 kg de bauxite,
400 kg de lignite,
120 kg de fuel,
100 kg de soude caustique.

De plus, 1.000 kg d'alumine « *monopolisent* » 80 m³ d'appareillage par jour.

Attaque de la bauxite

La bauxite est attaquée par une solution de soude dans des autoclaves en acier de près de trois mètres de diamètre et huit mètres de haut. La température intérieure est de 245° C. Les autoclaves sont montés en série.

Préparation de la bauxite

Dans le passé, en France, la bauxite était calcinée. La calcination se fait encore aux Etats-Unis d'Amérique et dans les pays où la distance est grande entre les lieux d'arrivée ou d'extraction de la bauxite et les usines de traitement.

Broyage

Il a lieu dans la liqueur d'aluminate, dans des broyeurs à boules et barres. L'alumine se transforme en aluminate de soude soluble. La silice produit du silico-aluminate de soude qui, lui, est insoluble. C'est pourquoi ce procédé réclame des bauxites pauvres en silice, car la perte d'alumine est équivalente au poids de silico-aluminate de soude. Les résidus sont des boues rouges (célèbres en Corse !) lavées pour récupérer une partie de la soude.

Décomposition de l'aluminate

La liqueur d'aluminate est refroidie dans des échangeurs à plaques Alfa-Laval pour ramener sa température de 100° à 50° C. Elle est mélangée en continu avec « *l'amorce d'hydrate solide* » précipitée dans les décomposeurs et filtrée par des filtres rotatifs. La suspension est décomposée dans de grands bacs décomposeurs de 3.000 m" et de plus de 30 mètres de haut. L'aluminate y précipite une partie de son alumine dissoute sous forme d'hydrate (Al_2O_3, $3H_2O$).

Séparation de l'hydrate

La séparation de l'hydrate

La suspension s'est enrichie en hydrate solide au détriment de l'alumine soluble de la liqueur d'aluminate. Elle est filtrée pour séparer la totalité de l'hydrate solide dont une partie est remise dans le cycle de la décomposition pour amorcer la réaction. Le reste de l'hydrate est appelé « *production* ». Après lavage à l'eau chaude, il est passé dans des fours pour y être calciné. La liqueur claire résultant de la séparation sera concentrée par évaporation et reservira à attaquer la bauxite.

Calcination de l'alumine

L'hydrate de « *production* » est lavé et séché puis calciné à 1.300° dans des fours en pente chauffés au fuel. Ces fours mesurent environ quatre mètres de diamètre pour cent mètres de long ! Ils sont rotatifs. A la sortie des fours des refroidisseurs rabaissent la température de l'alumine calcinée qui est ensilée dans des unités de 15.000 m³. Ceci représente le produit final de l'opération.

Concentration de la liqueur d'aluminate

La liqueur récupérée résiduellement après séparation de l'hydrate sur les filtres rotatifs est concentrée par évaporation et réintégrée dans le cycle à l'attaque de la bauxite.

Sur la carte des gisements de bauxite, vous notez la proximité des unités de production d'alumine d'avec les gisements de bauxite. *Gardanne* et *Salindres* pour *Péchiney ; Barasse* pour *Ugine. (Photo A 2, dessins A 3, A 4).*

4

FABRICATION DE L'ALUMINIUM PAR ELECTROLYSE

Ce procédé électrolytique que nous avons rencontré dans l'exposé historique de l'exploitation de l'aluminium est la décomposition par électrolyse de l'alumine par un fondant, la cryolithe. C'est le procédé Héroult-Hall. Paul Héroult

Croquis A 3 : ***Fabrication de l'alumine (procédé Bayer).***

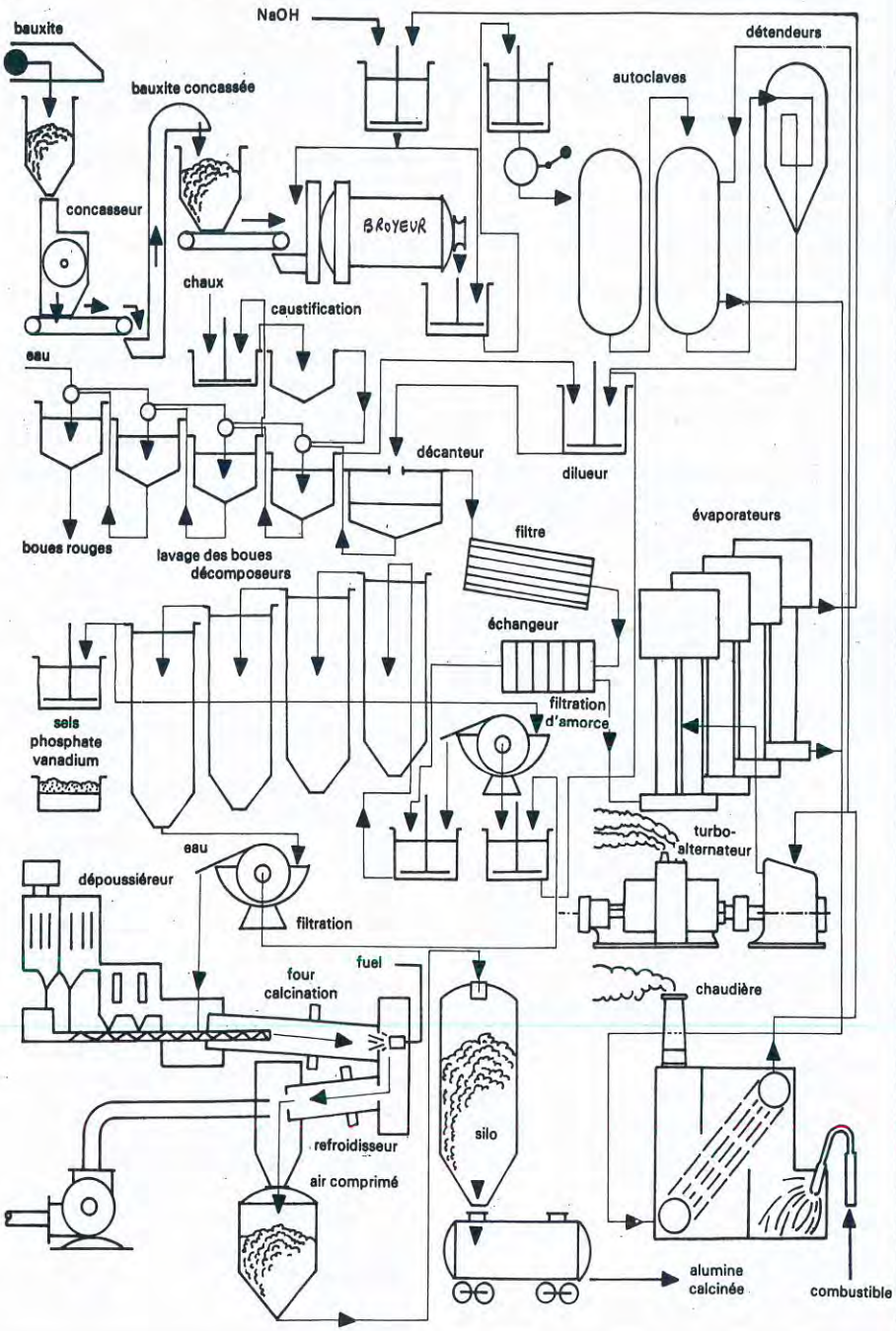




Photo A 2 : *Voilier de croisière en alu sous spi.*

pour la France ; Charles M. Hall pour les Etats-Unis d'Amérique.

La décomposition par électrolyse a lieu dans des cuves métalliques tapissées de dalles de carbone. Le fondant de cryolithe est additionné d'un peu d'alumine en solution. L'électrolyse de l'alumine (Al_2O_3) produit du côté de l'anode un dégagement d'oxygène tandis que du côté de la cathode, qui est le fond du bac, se dépose l'aluminium. L'oxygène en se dégageant provoque la combustion du carbone pur (anode) plongé dans la cryolithe (électrolyte) dont la température est maintenue aux environs de 960°C.

Analysons le procédé Héroult qui est depuis 1889 à peu près le seul utilisé en France et de par le monde pour produire l'aluminium de façon industrielle et compétitive.

LES CUVES

La première cuve de Paul Héroult, en 1889 fonctionnait à 4.000 ampères. En 1910, les cuves fonctionnaient à 10.000 ampères ; 20.000 ampères en 1915 ; 50.000 ampères en 1935 ; plus de 100.000 ampères en 1945. Actuellement, les cuves fonctionnent à des intensités de 150.000 ampères.

Les caissons

Ils sont rectangulaires, en acier, renforcés de profilés en T et U. Ils sont fixés au sol par des châssis en acier.

Le creuset

Il est constitué d'un tapissage de nombreuses épaisseurs de briques réfractaires à fort pouvoir isolant et de blocs ou dalles de carbone d'anthracite. Les joints sont en pâte de brasque, à base d'anthracite, qui cuit dès le début de la réaction électrochimique.

La cathode

L'arrivée du courant électrique à la cathode est assurée par des barres de fer qui plongent dans des blocs de carbone qui constituent la cathode. Ces barres sont scellées aux blocs de carbone, en France par la fonte d'acier, ailleurs par une pâte à base de carbone. Cette pâte cuit quand le processus se met en route. Le dessus des dalles de carbone qui tapissent le caisson fond par combustion et est remplacé par une masse de bain de cryolithe figé, riche en alumine. Cette masse calorifuge le creuset.

L'ANODE

Il existe deux types d'anodes ou systèmes anodiques qui eux-mêmes déterminent deux types de cuves :

- Les anodes pré-cuites ;
- Les anodes continues à auto-cuisson, procédé Soderberg.

Les cuves à anodes pré-cuites

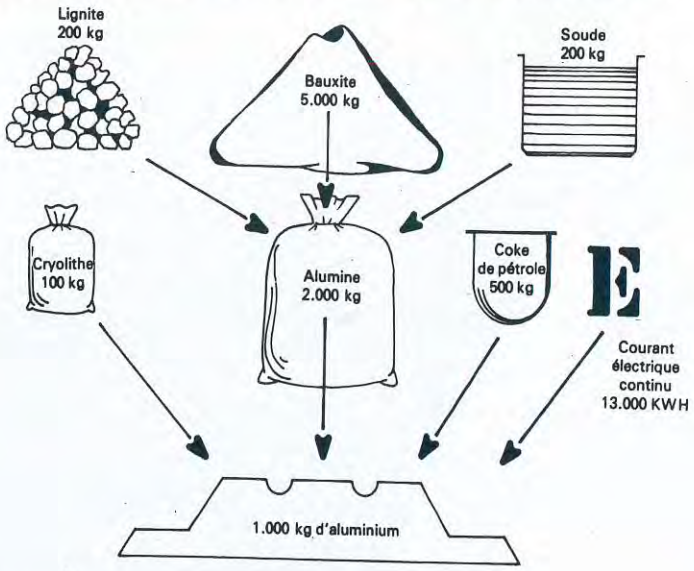
Les groupes d'anodes, pré-cuites, sont faits de carbone pur obtenu à partir de coke de pétrole. Le courant arrive à l'anode par des pattes de fer scellées à la fonte ou boulonnées sur des barres d'aluminium qui sont fixées sur des croisillons en aluminium des cuves par serrage. (Voyez le dessin de cuves à anodes pré-cuites).

Les cuves Soderberg

Mises au point par le Suédois Soderberg, les cuves à anodes à auto-cuisson datent de 1918 et sont intensivement utilisées depuis 1926. Une gaine métallique est emplie d'une pâte crue de carbone-brai. Sa cuisson s'obtient à la base de l'anode par le passage du courant et par le rayonnement du bain. L'anode descend au fur et à mesure qu'elle fond et on recharge de la pâte crue de carbone-brai sur le dessus.

La tendance actuelle irait plutôt en faveur des cuves à anodes pré-cuites, tout au moins pour la France. Le système à anodes pré-cuites est plus coûteux par le remplacement successif des barres de fer qui portent l'anode. Mais le système Soderberg met en œuvre des masses plus importantes d'une matière moins chère. Le système Soderberg permet pourtant la récupération des gaz de combustion des hydrocarbures provenant de la transformation du brai en coke. Ce qui n'est pas négligeable en cette époque d'économies d'énergie et de recyclage des résidus. (Voyez le dessin de cuves à anodes à auto-cuisson).

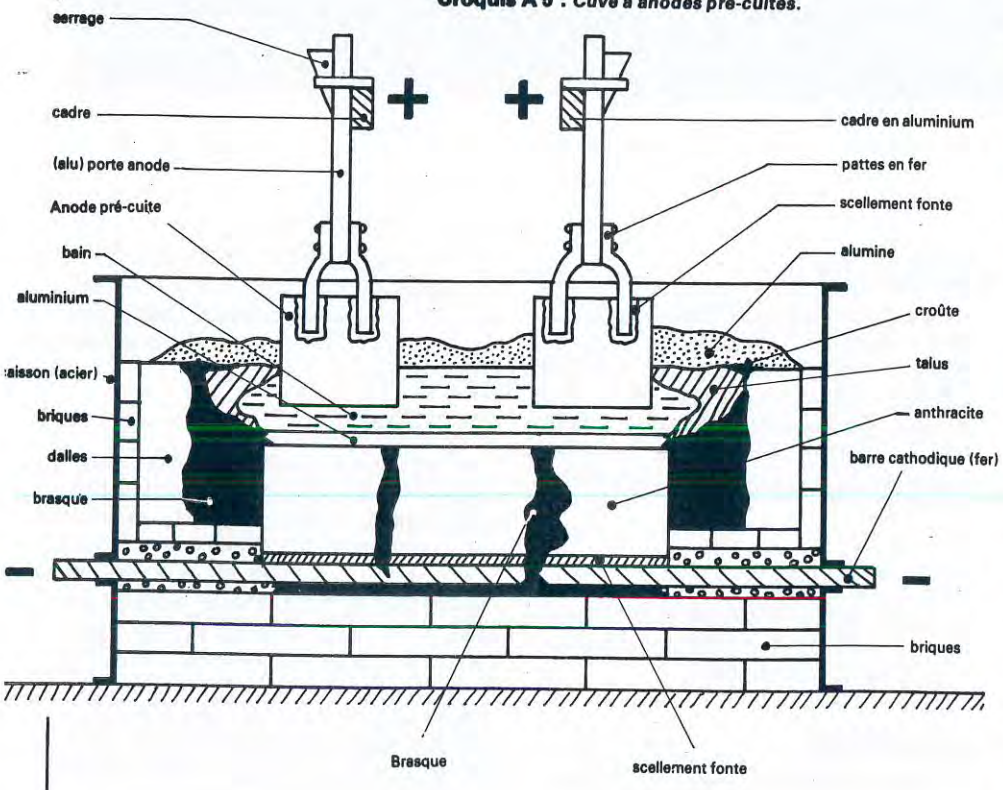
Croquis A 4 : ***Energie et matières premières nécessaires pour fabriquer 1.000 kg d'aluminium.***



FABRICATION DES ELECTRODES

La fabrication des électrodes est un chapitre important de la fabrication de l'aluminium, car il représente un poste économique et matériel volumineux. De même la fabrication des blocs de brasquage.

Croquis A 5 : ***Cuve à anodes pré-cuites.***



Le coke :

Le coke de pétrole dégazé représente la partie la plus importante des matières premières entrant dans la fabrication des anodes pré-cuites. La consommation de l'anode représente environ 40 % du poids de l'aluminium produit : 400 kg pour 1.000 kg d'aluminium. On se rend compte que le pourcentage d'impuretés de l'anode doit être aussi minime que possible. Ce coke ne possède que 0,5 % de cendres.

Dans le cas du procédé Soderberg, c'est du coke de brai qui est utilisé. Il provient de la distillation de goudrons de houille et ne possède même pas 0,5 % d'impuretés (soufre).

Le brai sec :

Il sert à l'agglomération du coke, et s'obtient par distillation de goudrons de houille. Son point de ramollissement se situe entre 80 et 90° C.

Le séchage :

L'humidité contenue dans les cokes est ramenée par séchage à moins de 0,1 %, dans un four tournant, alimenté au mazout.

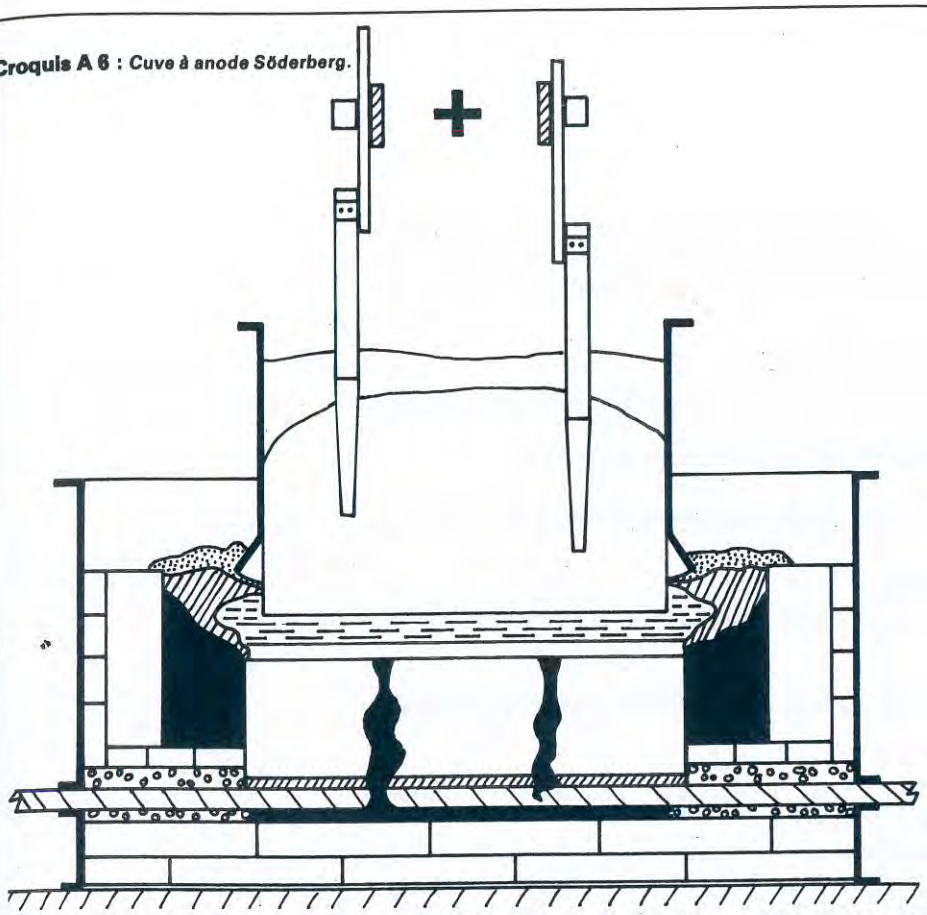
Broyage .

Une fois séché, le coke est broyé et tamisé. Plusieurs états de calibrage de fin à très gros sont proposés.

Ensuite, les cokes sont malaxés dans des pétrins de 1.000 à 2.500 litres, chauffés à l'électricité à une température de 150° C pendant une heure.

Le mélange utilisé pour les anodes pré-cuites est de 84 % de coke et 16 % de brai. Pour la pâte du procédé Soderberg la composition est de 70 % de coke et 30 % de brai, et le malaxage dure deux heures. Mais maintenant, les opérations de préparation du coke de pétrole sont faites en continu dans des appareils mon-

Croquis A 6 : *Cuve à anode Söderberg.*



tés en série. Le temps du malaxage est alors ramené à huit minutes.

Enfin, la pâte non cuite est pressée et mise en forme d'anodes. Pour ce faire, on utilise des presses hydrauliques de 2.500 tonnes. Une minute suffit à presser une anode.

Cuisson :

Dans le cas des anodes pré-cuites, la pâte crue pressée est cuite pendant 12 à 17 jours à plus de 1.100° C. Elles deviennent alors conductrices du courant électrique. La cuisson s'effectue dans des fours possédant jusqu'à 48 chambres et trois étages de cuisson. Des grains d'anthracite remplissent les vides entre les anodes pour éviter la présence d'air.

Le cycle du chauffage comprend .

- un préchauffage naturel,
- un préchauffage accéléré,
- une période de feu maximum,
- un temps de refroidissement

L'ELECTROLYTE

L'électrolyte utilisé pour fabriquer l'aluminium est la cryolithe (AlF_3-3NaF) additionnée d'alumine en faible quantité. Celle-ci descend le point de fusion de la cryolithe de 1.000° C à 930 ° C. Le pourcentage d'alumine (Al_2O_3) le plus courant est 7 %, au-delà de quoi on risque d'empâter le bain. Le bain est contrôlé et maintenu neutre, voire légèrement acide avec un excès de 5 à 6 % de AlF_3.

Initialement, le bain liquide des cuves contient environ 6 à 7 % d'alumine en solution. Au fil de la réaction la teneur d'alumine s'abaisse. Aux environs de 1 %, l'alumine n'est plus décomposée. C'est NaF qui s'électrolyse et le fluor qui se dégage à l'anode forme à la surface un film gazeux non conducteur. Cela provoque une augmentation de la résistance électrique qui porte la tension aux bornes de la cuve entre 20 et 70 volts.

C'est ce qu'on nomme « l'effet anodique », mais en terme de métier, on dit que la cuve s'emballe ou brûle.

On arrête l'effet anodique en ajoutant de l'alumine dans la solution, à la surface du bain. La croûte de surface est alors percée par des machines automatiques qui déchargent en même temps l'alumine.

La tension est maintenue aux environs de 3,5 et 4 volts.

Elle varie selon les cuves.

La tension globale est la résultante de :

- la tension de décomposition (e) : 1,65 volt
- la chute de tension à l'anode (Va) : variable
- la chute de tension à la cathode (Vc) : variable
- la chute de tension dans le bain (Vb) : voisine de 1,7 volt
- la chute de tension dans les conducteurs entre les différentes cuves
- la surtension des effets anodiques.

COULEE DES CUVES

L'aluminium qui s'agglomère à la cathode est vidé presque tous les jours, en une coulée, par un trou pratiqué à la base du creuset, ou par siphonnage. Le siphon est en fonte réfractaire dans laquelle on fait un vide partiel.

CONSOMMATION DE MATIERES PREMIERES

Par fabrication électrolytique la consommation d'alumine (Al_2O_3) est de 1.890 kg d'Al_2O_3 pour 1.000 kg d'aluminium. Ce qui d'ailleurs est voisin de la correspondance moléculaire simple, même si on récupère une trentaine de kilos d'alumine dans les résidus fluorés.

La consommation d'anodes est de 420 kg pour 1.000 kg d'aluminium.

Les composés fluorés (fluorure d'aluminium et cryolithe) sont consommés pour une quantité d'environ 30 kg pour 1.000 kg d'aluminium. Leur proportion varie selon la teneur en soude dans l'alumine et en AlF_3 dans le bain de cuve.

RENDEMENT

A notre époque, le coût de production dépend largement du coût d'énergie. Le rendement Faraday est la différence entre l'aluminium théorique calculé et l'aluminium produit effectivement. Le poids théorique est calculé par la formule de Faraday :

$$\text{P. Théorique} = \frac{1}{26,8} \times \frac{A}{V} \times I \times t$$

La production effective se déduit selon cette formule :

$$P.E = 0,336 \times R \times Ah$$

où R est le rendement, et Ah les ampères-heure de la consommation d'énergie nécessaire aux opérations de transformation. Le rapport est en général de 86 à 90 %.

La consommation d'énergie électrique était en 1970 de l'ordre de 13.000 KWh en basse tension aux bornes de la série. Depuis 1970, le bond des coûts d'énergie a été ressenti dans la production d'aluminium très consommatrice d'énergie. Ce bond a été tempéré par l'amélioration des techniques, de meilleures performances de production et un accroissement de la consommation.

LES PREMIERES TRANSFORMATIONS

Que le but final de la transformation soit de fabriquer des tôles, des profilés, des pièces de fonderie, l'aluminium recueilli à la coulée est d'abord fondu en lingots.

En général, les usines qui fabriquent l'aluminium (produit brut) par électrolyse, fondent elles-mêmes le métal liquide en demi-produits dans leurs unités de fonderie. Ces fonderies possèdent des fours chauffés au mazout, au gaz, ou encore à l'électricité. Une fois dégazé, l'aluminium liquide est refroidi et transformé en :

- lingots de différents types,
- bandes,
- billettes,
- plaques de laminage,
- fil.

LA REACTION ELECTROLYQUE

— La réaction finale s'écrit :

$Al_2O_3 \longrightarrow 2\,Al^{+++} + 3O^{--}$

\+ = ions positifs

— = ions négatifs

— La réaction primaire ne peut donner la décomposition de l'alumine Al_2O_3. L'aluminium liquide descend au fond de la cuve sur la cathode (blocs d'anthracite). L'oxygène gazeux se dégage côté anode et forme du gaz carbonique avec le carbone de l'anode. Le CO_2 peut se transformer en CO par la réaction usuelle :

$$CO_2 + C \longrightarrow 2\,CO$$

voire aussi par des réactions secondaires avec Al ou Na.

Pour expliquer le détail des effets constatés dans l'électrolyse de l'aluminium, il existe plusieurs théories dont celles-ci :

A **Il y a une séparation partielle de la cryolithe dès le début de la fusion du bain :**

$Na_3Al\,F_6 \qquad 2Na^+F^- + Na^+\,(AL\,F_4)^{--}$

B **En présence d'alumine, se formeraient de l'oxyfluorure d'aluminium et de l'aluminate de soude :**

$2Na\,Al\,F_4 + 6Na^+ + 6e = 8Na\,F + 2Al$

C Côté anode les ions fluor produisent un dégagement d'oxygène qui provoque la consommation de l'anode :

$3Na\,Al\,0\,F_2 + 6F \qquad 3Na\,Al\,F_4 + 6e + 30$

D Côté cathode l'ion sodium donne, par réaction, de l'aluminium. Le bain est plus basique côté cathode que côté anode :

$2Na\,Al\,F_4 + 6Na^+ + 6e = 8Na\,F + 2Al$

- On note que les ions primaires sont le sodium (Na^+) et le fluor (F^-). L'oxygène et l'aluminium n'apparaissent qu'après les réactions secondaires.
- L'action du composé $Al\,F_3$-Na F est capitale.
- Des composés sont formés par l'alumine en solution et les produits fluorés du bain liquide.
- Côté anode le carbone (C) dépolarise les ions négatifs oxygène et produit le gaz carbonique CO_2. Une grande part du carbone des gaz de la cuve provient de la réaction du gaz carbonique sur le sodium ou l'aluminium.

C'est à ce stade que la variété des alliages est réalisée en incorporant à l'aluminium liquide des métaux complémentaires tels que le manganèse, le magnésium, le silicium. *(Croquis A 5, A 6).*

5

DEMI-PRODUITS FORMES COMMERCIALES DES ALLIAGES D'ALUMINIUM

En France comme à l'étranger, la vente de la production française d'aluminium de première fusion est réalisée par *« l'aluminium français »* que la production vienne de la Compagnie *Pechiney* ou de la Société *Ugine-Kuhlmann*.

Les formes de demi-produits sont les plaques de laminage, les lingots, les billettes de laminage, de filage ou de forge, le fil, les barres. On trouve aussi des grenailles, des poudres, des grains, des pâtes.

Aluminium français, service d'information : 87, boulevard de Grenelle, 75015 Paris ; 8, cours de Verdun, 69002 Lyon.

PLAQUES DE LAMINAGE ET DE FONTE

Epaisseur	Inférieure ou égale à 0,40 m
Largeur	Inférieure ou égale à 2,14 m
Longueur	Inférieure ou égale à 6 m

Les plaques peuvent suivre un traitement d'homogénéisation.

LINGOTS

n° 1	Aluminium	Lingot cannelé en 10 divisions	1 kg
n° 6	Alliages	Fractionnables en deux parties	6 kg
N° 10	Alliages	Livrés en piles cerclées de 1.000 kg	9 à 12 kg
N° 16	Aluminium	Livrés en piles cerclées de 1.000 KG ; lingots à oreilles	16 kg

BILLETTES CARREES D'ALUMINIUM OU D'ALLIAGES

Section (en mm)	Long. maxi (en mm)	Poids au mètre (en kg)
100 x 100 x 1,5	1.850	27
102 x 102 x 1	6.000	28
150 x 150 x 2	1.850	61
162 x 162 x 1	3.000	68,5
500 x 500	4.000	67,5

Les billettes peuvent être homogénéisées.
Elles peuvent être livrées écroûtées et sciées à longueur.

BILLETTES RONDES

Diamètre de 100 à 500
Longueur maximale : 6 m

Ces billettes peuvent être "scalpées" et homogénéisées.

BARRES

Section en mm	Section en mm²	Poids au mètre en kg
100 x 10	1.000	2,7
100 x 20	2.000	5,4
150 x 20	3.000	8,1
200 x 15 à 40	3.000 à 8.000	8,1 à 21,6
300 x 40 à 50	12.000 et 15.000	32,4 et 40,5
400 x 40	16.000	43,2

Ces barres sont obtenues par coulée continue, horizontale.

FIL D'ALUMINIUM

Diamètre en mm	Poids au mètre en kg	Poids par bobine en kg	Longueur par bobine en mètre	Dimensions des bobines : Diamètre extérieur en mm	Dimensions des bobines : Hauteur en mm
9,5	0,196	1.000	5.100	1.000 ou 1.100	750 ou 850
9,5	0,196	2.000	10.200	1.300	890
12,4	0,320	1.000	3.100	975 ou 1.000	750 ou 850
19,3	0,785	1.000	1.270	950 ou 1.000	750 ou 850

Ce fil est destiné à des usages électriques ou mécaniques.

BANDES D'ALUMINIUM

En bobines : Larg. en mm	Epaisseur en mm : maxi	Epaisseur en mm : mini	En barres droites ; Long. 6 m : Larg. en mm	Epaisseur en mm : maxi	Epaisseur en mm : mini
100	10	3	100	15	3
140	10	3	140	15	3
200	8	3	200	12	2
250	7	4	250	10	4
300	7	6	300	8	5

Grenailles :

Elles ont la forme de grains de petit calibre, allongés ou sphériques. Elles sont exemptes de graisse. Les grains sont homogènes. Les grenailles sont destinées à l'aluminothermie, la purotechnie et les compositions exothermiques.

Pâtes et poudres d'aluminium :

Elles se présentent sous forme de lamelles très fines graissées et sont employées en peinture, dans les produits d'entretien, des matériaux de construction (béton cellulaire). Les pâtes d'aluminium sont obtenues à partir de métal de première fusion et en contiennent au minimum 99,5 %. Elles entrent dans la fabrication de peintures.

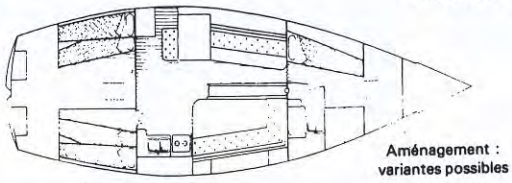
Transformateurs :

Les principaux transformateurs qui réalisent ces demi-produits sont les sociétés *Scal, Cegédur et Tréfimétaux*.

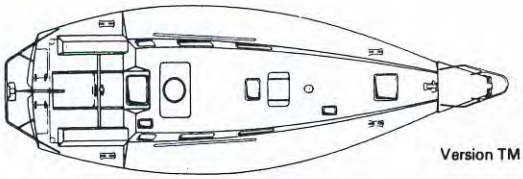
Grains :

Ils sont en forme de bille aplatie d'une parfaite homogénéité.

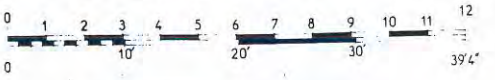
On les trouve en diamètre de 6 à 10 mm. Leur épaisseur est de 2 à 3 mm. Ils servent principalement à « *calmer* » les bains d'acier.

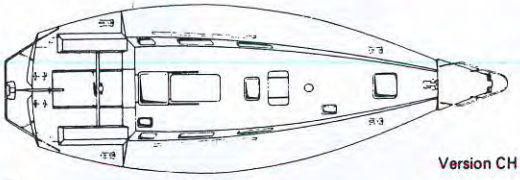


Aménagement : variantes possibles

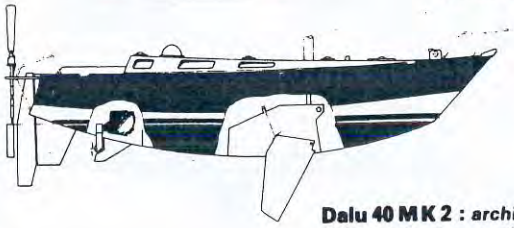


Version TM





Version CH





Dalu 40 MK 2 : *architectes M. Joubert — B. Nivelt.*
Gréement cotre possible.

6

TECHNIQUES POUR L'AVENIR

PRODUCTION D'ALUMINE SANS BAUXITE

La fabrication de l'aluminium par quelque procédé que ce soit est grosse consommatrice de bauxite, pratiquement dans la proportion de cinq tonnes de bauxite pour une d'aluminium, compte tenu des minerais de bonne et de mauvaise qualité comme on l'a vu dans les chapitres précédents. Pour éviter une trop grande dépendance, d'une part des quantités de bauxite disponibles dans la croûte terrestre, d'autre part, des politiques des pays producteurs et exportateurs, il convenait de rechercher activement des solutions de remplacement, synthétiques ou minérales. Le problème est toutefois moins urgent grâce à une meilleure gestion des stocks mondiaux et un moindre gaspillage, l'utilisation étant avant tout industrielle.

SITUATION ECONOMIQUE

Jusqu'à 1972, nous avons assisté à une pente montante de consommation des économies mondiales. Une nette récession la suit depuis 1974 avec un nécessaire rééquilibrage consommation-production.

Le prix des matières premières dépend de deux systèmes de causes. Causes externes au pays producteur : la demande et les prix fixés par le jeu du marché de concurrence. Causes internes : coûts de production dus aux conditions locales d'exploitation et taxes imposées par les pays (taxes locales...). Ces dernières taxes ont fréquemment triplé ou quadruplé à la charnière 1973-1974. Les producteurs n'ont alors plus accepté le simple fixing du prix de leur production par le jeu du marché. Pour autant, le bras de levier politique n'est pas comparable au cas de l'O.P.E.P. pour le pétrole. Les probabilités de hausse des matières premières importées par les grands pays consommateurs ont été suffisamment prises au sérieux pour que se relancent l'exploitation du charbon, les recherches pour varier les sources et les types de minerais, et la recherche de produits de synthèse.

Et puis, les réserves de bauxite ne sont pas inépuisables.

Sur la base de cinq tonnes de bauxite pour une tonne d'aluminium G.A. Baudart a évalué à 3,2 milliards de tonnes d'aluminium la réserve envisagée avant pénurie, soit à 16 milliards de tonnes de bauxite les quantités disponibles.

Pour une augmentation de 6 à 9 % de la consommation, cela nous porte à une pénurie d'aluminium produit à base de bauxite, entre les années 2011 et 2024. D'ici là, de nouveaux gisements peuvent être découverts, mais rien ne permet de dire en contrepartie que le « *fond* » des gisements connus sera réellement exploitable.

Si la croissance de 6 % paraît réaliste, il est également évident que vers la fin des stocks le coût et le prix de vente de l'aluminium vont croître et en diminuer la consommation pour les produits courants.

De plus, on sait qu'il faut à peu près dix ans pour mettre en service un nouveau gisement à partir du moment où il a été décidé de l'exploiter et que maintenant les capitaux à investir se chiffrent par milliards de dollars U.S. Il y a aussi nécessité de trouver des sources d'approvisionnement compétitives. Les moins compétitives le devenant au fil de la hausse des coûts d'exploitation des gisements vieillissants ou d'accès difficile. En 1974, l'investissement pour une tonne d'aluminium était de 2.500 dollars U.S.

D'AUTRES MINERAIS

En *Norvège*, on obtient, de façon semi-industrielle, de l'aluminium à partir de Labradorite. Le procédé de transformation à l'acide nitrique est nommé Nuvalon.

En *Suède*, une usine de Sundsvall produisait 6.000 tonnes par an d'alumine à partir d'un minerai de la région de *Boliden* : l'Andalousie. Ceci jusqu'à 1947.

En *Corée du Nord* et *Chine du Nord*, les Japonais ont exploité après la seconde guerre mondiale, des usines qui ont produit jusqu'à 100.000 tonnes d'alumine par an pour les plus grandes unités. Le procédé était le traitement par lixiviation calcico-sodique de schistes alumifères.

En *Italie*, entre 1918 et 1950, on a exploité des leucites ($4SiO_2$, $Al_2O_3K_2O$) transformées à l'acide chlorhydrique ou à l'acide nitrique, dans les Abruzzes.

En *U.R.S.S.*, où on trouve fort peu de bauxite, un silicate double d'aluminium et métaux alcalins, la népheline, est traitée et produit 2.000.000 tonnes d'alumine par an. Un second procédé à partir d'alunite donne 1.000.000 de tonnes d'alumine par an.

Aux *U.S.A.* et en *Allemagne de l'Ouest*, de nombreux procédés acides ou alcalins sont employés pour produire de l'alumine à partir de l'alumite et d'argiles. Jusqu'à des quantités de 400.000 tonnes par an, pour la seule unité de production située à *Kalunite*, près de *Salt Lake City*.

La production d'alumine sans bauxite passe par le renforcement de l'exploitation (si elle est possible à des coûts compétitifs) des minerais mentionnés ci-avant.

Un nouveau procédé dit de l'H^+ (ion hydrogène positif) et d'autres nouvelles méthodes sont également développés pour relayer l'exploitation de la bauxite. Mais l'étude comparative des coûts marque pour le moment un net avantage de la bauxite et d'autres minerais naturels. La bauxite étant appelée à être de moins en moins compétitive au fur et à mesure de sa raréfaction. Elle rendra d'elle-même compétitifs les coûts des autres procédés.

Une saine gestion du stock de bauxite dans son état actuel est encore la tâche la plus rentable sur le plan économique.

La *France*, *la Grèce*, *la Yougoslavie* et d'autres pays producteurs de bauxite et consommateurs d'aluminium subviennent plus ou moins complètement à leurs besoins. Les *U.S.A.* sont très importateurs de bauxite dans la mesure où ils sont très gros consommateurs d'aluminium et exportateurs de produits transformés en aluminium. La *Jamaïque* produit un cinquième de la bauxite mondiale. L'exportation de bauxite représente 64 % de son volume d'exportation et 13 % de son produit national brut.

Par voie de conséquence, la gestion du stock de bauxite est le meilleur moyen à court et à moyen terme pour les pays exportateurs de ne pas perdre leur place compétitive, et pour les consommateurs de produire un aluminium à un prix correct. Toute flambée des prix du côté des producteurs faisant tomber du côté des pays fortement industrialisés capables de mettre en œuvre des techniques de substitution l'avantage de la compétitivité des coûts ! Il en est de même pour le pétrole, mais dans un équilibre plus lointain encore la place à des hausses importantes. *(Photo A 5. Croquis A 8).*

Croquis A 8 : ***LE RANDONNEUR, ketch cat boat de randonnée nautique, dessiné par Marc Espagnon.***



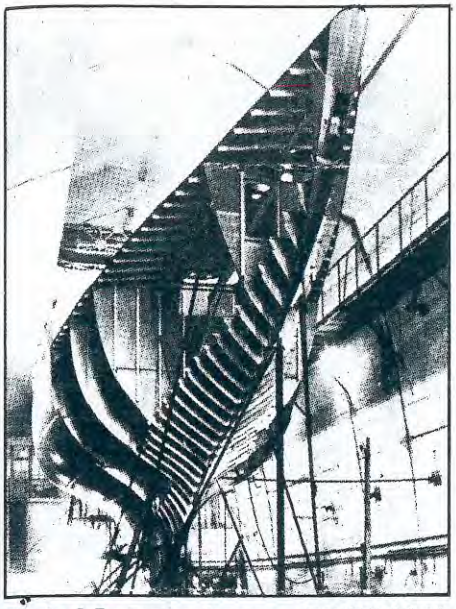


Photo A 5 : *Pendant longtemps TALOFA II fut le plus grand voilier construit avec ses 34 m (photo La Perrière).*

7

DESIGNATIONS DE L'ALUMINIUM ET DE SES PRINCIPAUX ALLIAGES

Il existe deux types de numération. La première, dite alphanumérique, a été définie en novembre 1970 pour les aluminiums et ses alliages destinés à la fonderie par la Norme française A.02.004. La seconde a été définie par la *Norme française* en novembre 1970 et rendue obligatoire au 1er janvier 1976. Elle concerne les aluminiums et ses alliages transformés, pour tôles et profilés. Elle porte le n° A.02.104. On appelle alliage, une combinaison d'un métal d'une teneur d'au moins 50 % de l'alliage avec un ou plusieurs autres éléments, métaux ou métalloïdes.

DESIGNATION ALPHANUMERIQUE

N.F. : A.02.004.

Pour aluminiums et alliages de fonderie.

Aluminium :

La dénomination du métal de base, aluminium, est la lettre A. Un numéro, conventionnel, suit cette lettre pour indiquer sa pureté. Le reste du pourcentage à cent est sa teneur en impuretés parmi lesquelles du silicium et du fer.

On trouve donc les dénominations du tableau suivant, du moins pur au plus pur :

Symbole	Numéro conventionnel	% de pureté
A.....	4	99,00 %
A.....	5	99,50 %
A.....	6	99,70 %
A.....	7	99,80 %
A.....	8	99,85 %
A.....	9	99,99 %

Pour les aluminiums utilisés pour fabriquer des conducteurs électriques, la lettre L est ajoutée, qui marque le contrôle de certaines impuretés résiduelles dont une teneur trop abondante nuirait à la conductibilité électrique recherchée. Par exemple : A.5L.

Alliages d'aluminium :

La base d'aluminium est toujours marquée A. Son état de pureté reste indiqué de 4 à 9. Les éléments additionnés à l'aluminium sont représentés par leur symbole abrégé. La première lettre est toujours celle du métal de base. Le second groupe de lettres, séparé du premier par un tiret, donne les éléments additionnés avec éventuellement leur teneur. Le chiffre marquant la teneur suit la lettre de l'élément auquel il se rapporte. Les éléments sont rangés par ordre décroissant de teneur.

Par exemple, A-S4G indique un alliage d'aluminium à 99,5 % avec 4 % de silicium (S) et moins de 1 % de magnésium (G).

Autre exemple, A85-GT, pour un alliage composé d'aluminium à 99,85 % de pureté avec du magnésium et du titane en moindre importance.

TABLEAU DES SYMBOLES ABREGES DES ELEMENTS ADDITIONNES A L'ALUMINIUM DANS SES ALLIAGES, AVEC A POUR L'ALUMINIUM

Antimoine	R	Fer	Fe
Beryum	Be	Magnésium.....	G
Bore.....	B	Manganèse.....	M
Cadmium	Cd	Nickel	N
Cerium	Ce	Plomb	Pb
Chrome.....	C	Titane	T
Cobalt.....	K	Tungstene	W
Cuivre.....	U	Vanadium.....	V
Etain	E	Zinc	Z
		Zirconium	Zr

On constatera que les symboles abrégés sont différents des symboles chimiques, pour la plupart des éléments. Ceci afin de faciliter l'écriture des alliages et leur marquage.

DESIGNATION NUMERIQUE

N.F. : A.02.104.

Pour aluminium et alliages transformés.

La nouvelle désignation numérique des aluminiums et alliages destinés à la transformation en tôles et profilés, dits corroyés, est basée sur un groupe de quatre chiffres dits séries. Ces nombres commencent par 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ou 8. On les appelle aussi séries 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000 et 8000.

Premier chiffre :

Il indique le groupe d'appartenance à la qualité de l'aluminium ou d'alliage comme ci-après :

1000 = Aluminium d'une teneur supérieure ou égale à 99 %.
2000 = Alliages au cuivre
3000 = Alliages au manganèse
4000 = Alliages au silicium
5000 = Alliages au magnésium
6000 = Alliages au magnésium et silicium
7000 = Alliages au zinc
8000 = Alliages divers, autres que les précédents cités.

Les séries 0000 et 9000 ne sont pas attribuées. Elles sont réservées à l'usage privé des producteurs.

Second chiffre :

Dans le groupe 1 (série 1000), il indique les variantes de teneur des impuretés contrôlées. Dans les autres groupes (séries 2000 à 8000), il indique les modifications successives de l'alliage.

Deux autres chiffres :

Les troisième et quatrième chiffres indiquent dans la série 1000 le pourcentage d'aluminium au-delà de 99 %, et dans les autres séries (2000 à 8000), ils servent à dénommer l'alliage.

Lettre « X » ajoutée :

Cette lettre ajoutée aux séries de quatre chiffres indique un alliage exploité pendant quatre ans à usage expérimental. Par exemple 5754.X.

Lettre « A » ajoutée :

Cettre lettre marque une variante de composition française par rapport au même alliage de la classification « ASTM » : *American Society for testing and materials (ou Aluminium Association).*

Vous avez le bateau dans le cœur et la croisière dans la tête, alors lisez notre mensuel Loisirs Nautiques. Abonnez-vous. Vous trouverez nos conditions d'abonnement en fin de ce numéro.

DESIGNATION CONVENTIONNELLE DES PRODUITS DE FONDERIE

Les normes qui se rapportent aux produits coulés, soit sous pression, soit par gravité, sont les normes AFNOR NF A.57.702 de septembre 1969 et NF 57.703 de novembre 1970. Elles établissent les symboles des modes d'obtention et des états métallurgiques de livraison des produits de fonderie.

SYMBOLE	MODE D'OBTENTION ET ETATS METALLURGIQUES DE LIVRAISON
Y 20	Coulé en sable, non traité thermiquement.
Y 23	Coulé en sable, trempé et revenu.
Y 24	Coulé en sable, trempé et mûri.
Y 25	Coulé en sable, stabilisé.
Y 29	Coulé en sable, traité suivant prescription.
Y 30	Coulé en coquille, non traité thermiquement.
Y 33	Coulé en coquille, trempé et revenu.
Y 34	Coulé en coquille, trempé et mûri.
Y 35	Coulé en coquille, stabilisé.
Y 39	Coulé en coquille, traité suivant prescription.
Y 40	Moulé sous pression, non traité thermiquement.
Y 45	Moulé sous pression, stabilisé.
Y 49	Moulé sous pression, traité thermiquement suivant prescription.

TABLEAU DE CORRESPONDANCE DES ANCIENS ET NOUVEAUX SYMBOLES DES ALUMINIUMS ET ALLIAGES CORROYES EN FRANCE

Aluminium et alliages	NF A 02-004	NF A 02-104	Séries
Aluminium de pureté ⩾ 99,00 %	A9 A8 A7 A5 A45 A4	1199 1080 A 1070 A 1050 A 1100 1200	1000
Alliages aluminium-cuivre	A-U2G A-U2GN A-U4G A-U4G1 A-U4SG A-U4 Pb A-U5 Pb Bi	2117 2618A 2017A 2024 2014 2030 2011	2000
Alliages aluminium-manganèse	— A-M1 A-M1G A-MG0,5	3002 3003 3004 3005	3000
Alliages aluminium-magnésium	A-G0,6 A85-GT A-G2M A-G3M A-G4MC A-G5M — A-G4,50MC —	5005 5150 5251 5754X 5086 5056A 5052 5083 5454	5000
Alliages aluminium-magnésium-silicium	— A-SG A-SGM0,3 A-SGM0,7 A-GS —	6005A 6181 6081 (laminés) 6082 (filés) 6060 6061	6000
Alliages aluminium-zinc-magnésium	A-Z3G2 A-Z5G A-Z5GU A-Z8GU	7051 7020 7075 7049A	7000

DESIGNATION CONVENTIONNELLE DES PRODUITS CORROYES

On désigne ainsi les aluminiums et alliages destinés à la fabrication de tôles et profilés qu'on appelle produits *« corroyés »*.

Le corroyage :

C'est une opération effectuée visant à orienter les cristaux du métal dans le sens privilégié selon lequel la pièce va travailler. Dans le lingot obtenu en recevant la coulée du métal, la cristallisation du métal se fait d'une façon libre et *« anarchique »* lors du refroidissement. **La transformation du lingot, à chaud, qu'elle soit forgeage ou laminage, refragmente les cristaux et les « *range* » dans le sens de travail de la pièce** : l'étirage par exemple, place les cristaux *« en long »*. Il convient alors d'éviter une trop grande différence de caractéristiques entre la *« trame »* et la *« chaîne »*. On effectue avant la mise en format définitive de la pièce (profilé, tôle, etc.) une opération d'étirement des cristaux dans le sens perpendiculaire (en travers) au sens final du travail. La différence de répartition moléculaire est appelée « anisotropie ».

Le corroyage est différent du fibrage mais permet déjà d'exprimer une idée chère aux amoureux du bois : mais oui, les métaux aussi ont une structure interne *« fibrée »* !

Je reviendrai sur cette notion à diverses reprises pour l'aluminium ou l'acier.

La norme AFNOR N.F. A.02.006 de novembre 1970 concerne les produits corroyés, et caractérise leur indice de résistance et leur état métallurgique.

Indice de résistance :

C'est la valeur de charge à la rupture minimum garantie pour un produit, dans l'état de livraison considéré.

Son symbole est la lettre R. On la fait suivre de la valeur de cette charge à la rupture en *« hectobar »* = h.bar. Une seconde lettre caractérise le produit = son pourcentage de rupture à l'allongement = A ou E. En effet, si un produit est fourni dans deux valeurs de rupture à l'allongement = limite élastique, avec une même valeur de charge de rupture, le produit qui possède la plus grande valeur d'allongement est symbolisé A, la plus faible est symbolisée E.

Par exemple, une tôle d'aluminium A.G4MC dont les valeurs caractéristiques sont : charge à la rupture = 28 h.bar = R = 28.

Résistance à l'allongement = 8 % = A = 8 %.

Cet alliage sera dénommé A.G4MC R28. **Dans le cas de deux valeurs de résistance à l'allongement, par exemple pour ce fil :**

- Symbole de l'aluminium : A5.
- Charge à la rupture R = 10 h.bars.
- Allongement supérieur A = 5 % (E).
- Allongement inférieur A = 9 % (A).

Deux désignations : A5.R10.E et A5.R10.A.

TABLEAU DES CORRESPONDANCES DES NOUVEAUX SYMBOLES DES ALUMINIUMS ET ALLIAGES CORROYES ENTRE LA FRANCE ET L'ETRANGER

FRANCE	U.S.A.	CANADA	ALLEMAGNE		G.-BRETAGNE		ITALIE		SUISSE
			DIN		B.S.	DTD	UNI		VSM
Symboles AFNOR	ASTM	Symboles	Désignations	N° d'alliage	Sym-boles	correspondant	Désignations	N°	Désignations
A4	1200	2S	Al 99	3.0205	IC		P.AlP 99,0	3567	
A45	1100								
A5	1050	1S	Al 99,5	3.0255	IB		P.AlP 99,5	4507	Al 99,5
A7	1070	99,7	Al 99,7	3.0275	2L48		P.AlP 99,7	4508	
A8	1080	99,80	Al 99,8	3.0285	IA		P.AlP 99,8	4509	
A99	1099	99,99	Al 99,98R	3.0385	I				R Al
A-MI	3003	3S	AlMn	3.0515	N3		P.AlMn 1,2	3568	Al-Mn
A-MG	3005								
A-MIG	3004	4S							(Al-1 Mg)
A-G06	5005	B57S	AlMgI	3.3515					(Al.1Mg)
A-GI	5050	A57S-6071 (B57S)-J57S	(AlMgI)	(3.3515)			P.AlMg 1,5	3573	Al-1,5Mg
A-G2	(5052)	M57S	AlMg2	3.3525	N4	606A 634A	(P.AlMg 2,5)	(3574)	Al-2Mg
A-G3	(5154) (5254)	53S-(54S)	AlMg3	3.3535	N5	180C	(P-AlMg 3,5)	(3575)	Al-3Mg
A-G4MC	5086 5083	B54S D54S	(AlMg5)	(3.3555)	N5/6				Al-4Mg
A-G5	5056	(56S) A56S	AlMg5	3.3555	N6		P.AlMg 5	3576	Al-5Mg
A-GS	6063	50S	AlMgSi0,5	3.3206	H9	372B	P.AlSi 0,4 Mg P.AlSi 0,5 Mg	3569 3570	Al-Mg-Si
A-SG	(6061) 6051	51S			H19				
A-SGM		B51S	AlMgSil	3.2315	H30	346A 5080	P.AlSi 1 MgMi	3571	Al-Mg-Si
A-U2G	2117	16S	AlCuMg0,5	3.1305	L69		P.AlCu2,5MgS	3577	
A-U4G	2017	17S	AlCuMgI	3.1325	H14	150A	P.AlCu4MgM	3579	Al-4Cu-IMg
A-U4SG	2014	B26S-26S			H15	5010 5020 710A 746B 5030 5040	P.AlCu4,4 SiMnMg	3581	(Al-4Cu-IMg)
A-U4GI	2024	24S	AlCuMg2	3.1335			P.AlCu 4,5 MgMn	3583	
A-U4Pb	(2011)	(28S)	AlCuMgPb	3.1645					
A-U2GN	2618	42S			H18	717-724 731-745 5014 5070A 5084			
A-Z3G2			(AlZnMg3)	(3.4355)					
A-Z4GU	7079		AlZnMgCu0,5	3.4345					
A-Z5GU	7075	M75S-75S	AlZnMgCu1,5	4.3465		5074 617A 5050A 5060A	P.AlZn5,8 MgCu	3735	Al-Zn-Mg-Cu
A-ZUG8	7001 (7178)	(C77S)				5074	P.AlZn7,8 MgCu	3737	
A-SI2UN	4032	38S				324A	P.AlSi 12 Mg CuNi	3572	

Etats métallurgiques :

L'état de livraison est défini par une lettre. Cette lettre est suivie d'un chiffre qui indique le cycle-type du traitement mécanique ou thermique appliqué à l'aluminium ou l'alliage. Puis suivent d'autres chiffres qui désignent des nuances de cycle-type ou des états de dureté.

Etats de livraison (base) :

F = Etat brut.
O = Recuit ou recristallisé.
H = Ecroui par travail à froid.
T = Durci par trempe.

Nuances de l'état écroui à froid :

H_1 = Ecroui à froid.
H_2 = Ecroui + Recuit de restauration.
H_3 = Ecroui + Stabilisé.

Nuances de dureté :

1 = Etat le moins dur = H11 (dire H, 1,1)
2 = Quart dur = H12, H22, H32
4 = Demi-dur = H14, H24, H34
6 = Trois quarts dur = H16, H26, H36
8 = Quatre-quarts dur = H18, H28
9 = Extra-dur = H19 (dire H, 1,9).

On trouve dans les normes AFNOR des nuances de ces états désignées par un chiffre supplémentaire, par exemple : H111 (dire H, 1,1,1).

Nuances de l'état de trempe T :

T1 = Refroidi après une transformation à chaud, puis mûri.
T3 = Mise en solution, trempe, transformation à froid puis vieillissement naturel.
T4 = Mise en solution, trempe et vieillissement naturel.
T5 = Revenu.
T6 = Mise en solution puis revenu.
T8 = Mise en solution, trempe, puis revenu.
T10 = Revenu et écroui (dire dix).
T11 = Ecroui et mûri (dire onze).
T12 = Ecroui et revenu (dire douze).

NORMES AFNOR DE SOUDAGE

Il existe deux tomes de normes françaises de soudage qui étudient l'analyse chimique, spectographique des soudures, les méthodes d'essais de revêtements de surfaces métalliques, l'anodisation des aluminiums et alliages.

Au catalogue des Normes Françaises on trouve aussi (en plus de la classe A) :

- **Classe C** : produits électriques (câbles, etc...)
- **Classe D** : produits d'usage domestique et alimentaire.
- **Classe J** : produits destinés à l'industrie navale.
- **Classe L** : produits destinés à l'aéronautique.
- **Classe P** : produits de l'industrie du bâtiment, charpentes. *(Photo A 6. Croquis A 9, A 10).*

8

ANALYSES PHYSIQUE ET CHIMIQUE DE L'ALUMINIUM

CARACTERISTIQUES CRISTALLINES ET ATOMIQUES

- **La masse atomique de l'aluminium est** : 26.974.

TABLEAU DES DEFINITIONS ABREGEES ET DES SYMBOLES DES PRINCIPAUX ETATS DE LIVRAISON :

Symboles anciens PN A 02-002	Définitions abrégées	Symboles nouveaux NF A 02-003
X300 X306	Filé à chaud (dressé ou non)	F
X400 X406	Laminé à chaud (plané ou non)	F
X500	Laminé à froid (sans indication de nuance de dureté, ni garanties)	H
X600	Etiré à froid (sans indication de nuance de dureté, ni garanties)	H
X700	Tréfilé à froid (sans indication de nuance de dureté, ni garanties)	H
X310	Filé à chaud + recuit	O
X410	Laminé à chaud + recuit	O
X510	Laminé à froid + recuit	O
X610	Etiré à froid + recuit	O
X710	Tréfilé à froid + recuit	O
X316	Filé à chaud + recuit + dressé	H111
X516	Laminé à froid + recuit + plané	H111
	Laminé à froid + recuit + plané avec garanties spéc. de caract.	H112
X616	Etiré à froid + recuit + dressé	H111
X501	Laminé à froid pour 1/4 dur par laminage seul	H12
	Etiré à froid pour 1/4 dur par laminage + restauration	H22
	Laminé à froid pour 1/4 dur par laminage + stabilisation	H32
X601	Etiré à froid pour 1/4 dur par étirage seul	H12
	Etiré à froid pour 1/4 dur par étirage + restauration	H22
	Etiré à froid pour 1/4 dur par étirage + stabilisation	H32
X701	Tréfilé à froid pour 1/4 dur par tréfilage seul	H12
	Tréfilé à froid pour 1/4 dur par tréfilage + restauration	H22
	Tréfilé à froid pour 1/4 dur par tréfilage + stabilisation	H32
X502	Laminé à froid pour 1/2 dur par laminage seul	H14
	Laminé à froid pour 1/2 dur par laminage + restauration	H24
	Laminé à froid pour 1/2 dur par laminage + stabilisation	H34
X602	Etiré à froid pour 1/2 dur par étirage seul	H14
	Etiré à froid pour 1/2 dur par étirage + restauration	H24
	Etiré à froid pour 1/2 dur par étirage + stabilisation	H34
X702	Tréfilé à froid pour 1/2 dur par tréfilage seul	H14
	Tréfilé à froid pour 1/2 dur par tréfilage + restauration	H24
	Tréfilé à froid pour 1/2 dur par tréfilage + stabilisation	H34
X503	Laminé à froid pour 3/4 par laminage seul	H16
	Laminé à froid pour 3/4 dur par laminage + restauration	H26
	Laminé à froid pour 3/4 dur par laminage + stabilisation	H36
X603	Etiré à froid pour 3/4 dur par étirage seul	H16
	Etiré à froid pour 3/4 dur par étirage + restauration	H26
	Etiré à froid pour 3/4 dur par étirage + stabilisation	H36
X703	Tréfilé à froid pour 3/4 dur par tréfilage seul	H16
	Tréfilé à froid pour 3/4 dur par tréfilage + restauration	H26
	Tréfilé à froid pour 3/4 dur par tréfilage + stabilisation	H36
X504	Laminé à froid pour dur par laminage seul	H18
	Laminé à froid pour dur par laminage + stabilisation	H38
X604	Etiré à froid pour dur par étirage seul	H18
	Etiré à froid pour dur par étirage + stabilisation	H38
X704	Tréfilé à froid pour dur par tréfilage seul	H18
	Tréfilé à froid pour dur par tréfilage + stabilisation	H38
X505	Laminé à froid pour extra-dur par laminage seul	H19
X605	Etiré à froid pour extra-dur par étirage seul	H19
X705	Tréfilé à froid pour extra-dur par tréfilage seul	H19
X346	Filé à chaud + trempé (1) + dressé (2) + mûri	T4
X446	Laminé à chaud + trempé (1) + plané (2) + mûri	T4
X546	Laminé à froid + trempé (1) + plané (2) + mûri	T4
X646	Etiré à froid + trempé (1) + dressé (2) + mûri	T4
X746	Tréfilé à froid + trempé (1) + dressé (2) + mûri	T4
	Laminé à froid + trempé (1) + glacé + plané (2) + mûri	T3
	Etiré à froid + trempé (1) + calibré + dressé (2) + mûri	T3
	Tréfilé à froid + trempé (1) + calibré + dressé (2) + mûri	T3

	Laminé à chaud + trempé (1) + traction contrôlée + mûri	T351
	Filé à chaud + trempé (1) + traction contrôlée + mûri	T351
	Filé à chaud + dressé (2) + revenu	T5
X336	Filé à chaud + trempé (1) + dressé (2) + revenu normal	T6
	Filé à chaud + trempé (1) + dressé (2) + revenu doux	T61
	Filé à chaud + trempé (1) + dressé (2) + revenu fort	T66
X436	Laminé à chaud + trempé (1) + plané (2) + revenu normal	T6
X536	Laminé à froid + trempé (1) + plané (2) + revenu normal	T6
	Laminé à froid + trempé (1) + plané (2) + revenu doux	T61
	Laminé à froid + tremplé (1) + plané (2) + revenu fort	T66
X636	Etiré à froid + trempé (1) + dressé (2) + revenu normal	T6
	Etiré à froid + trempé (1) + dressé (2) + revenu doux	T61
X736	Tréfilé à froid + trempé (1) + dressé (2) + revenu normal	T6
	Laminé à chaud + trempé (1) + traction contrôlée + revenu	T651
	Filé à chaud + trempé (1) + traction contrôlée + revenu	T651

NORMES

Normes AFNOR

Normes de symbolisation	NF A 02-004	désignation des métaux et alliages non ferreux
	NF A 02-006	désignation des états de livraison
	NF A 02-011	vocabulaire des traitements thermiques et mécaniques
	NF A 02-104	désignation numérique
Normes de qualité	NF A 01-101	conditions générales de contrôle et de livraison
	NF A 50-411	barres, fils, tubes, profilés
	NF A 50-451	tôles, bandes, disques, flans, pions
	NF A 50-501	tubes soudés pour usage général et irrigation
	NF A 50-506	profils obtenus à froid sur machine à galets et presse plieuse
Constitution des groupes	NF A 50-701	répartition en groupes suivant compositions
Dimensions et tolérances	NF A 50-702	barres de section circulaire filées
	NF A 50-703	barres de section carrée filées
	NF A 50-704	barres de section hexagonale filées
	NF A 50-705	méplats filés
	NF A 50-706	profilés de section simple filés en forme de L
	NF A 50-707	profilés de section simple filés en forme de I
	NF A 50-708	profilés de section simple filés en forme de T
	NF A 50-709	profilés de section simple filés en forme de U
	NF A 50-710	profilés de section quelconque filés
	NF A 50-711	tubes de section circulaire filés livrés en longueurs droites
	NF A 50-712	tubes de section circulaire filés livrés en couronne
	NF A 50-731	barres de section circulaire étirées
	NF A 50-732	barres de section carrée étirées
	NF A 50-733	barres de section hexagonale étirées
	NF A 50-734	méplats étirés
	NF A 50-735	fils méplats étirés livrés en couronne
	NF A 50-736	fils tréfilés livrés en couronne
	NF A 50-737	tubes de section circulaire étirés livrés en longueurs droites et en couronne
	NF A 50-738	tubes de section carrée et rectangulaire étirés
	NF A 50-751	tôles
	NF A 50-761	bandes roulées
	NF A 50-771	disques
	NF A 50-801	tubes soudés de section circulaire
	NF A 50-805	tubes soudés de section carrée et rectangulaire
	NF A 50-810	tubes soudés de forme
	NF A 50-821	profils de forme obtenus à froid sur machine à galets
	NF A 50-825	profils obtenus à froid par pliage à la presse
	NF A 50-830	tôles ondulées profilées à froid sur machines à galets

AUTRES NORMES

Aéronautique	désignation conventionnelle et états de livraison : normes AFNOR	
	généralités	domaines d'application, caractéristiques, recettes :
	AIR 9048	laminés
	AIR 9050 (1)	barres, profilés pleins, tubes
	AIR 9150 (1)	fils à rivets
	AIR 9302 (1)	tubes pour canalisations hydrauliques
	AIR 9051 (1)	produits pour la forge
	AIR 3385 (1)	pièces forgées matricées
	(1) au dernier indice - Révision en cours	
Marine	fascicule D430 et annexes	désignation conventionnelle et états de livraison, domaines d'application, caractéristiques, recettes.

- **Son numéro atomique est : 13**
- **Disposition des électrons :** K2, L8, M3
- **Volume atomique :** 10,0 cm3 par atome gramme.
- **Section efficace des neutrons thermiques :** 0,215.10-28 m² par atome.
- **La structure cristalline de l'aluminium est cubique à faces centrées, constante réticulaire : 4,0413 A (1 Angström = 10^{-7} mm).**

MASSE SPECIFIQUE

Etat solide t = 20° C		A la fusion t = 660° C		Etat liquide t = 900° C	
Al %	g/cm3	Al %	g/cm3	Al %	g/cm³
99,996	2,699	99,99 sol.	2,55	99,75	2,343
99,5	2,705				

TEMPERATURE DE FUSION

Al %	Point de fusion °C
99,996	660,24
99,97	659,8
99,70	658,9
99,50	658,4

CARACTERISTIQUES OPTIQUES

Le pouvoir réflecteur de l'aluminium poli est excellent (brillance). Il vient en second rang derrière l'argent poli. Et anodisé, ce caractère de brillance et réflexion de la lumière est de très longue durée. Ce qui revient à dire qu'une surface polie d'aluminium est un bon miroir, brillant, et qu'un objet d'aluminium anodisé garde longtemps son brillant, ou son aspect « *neuf* ». Ce que vous constatez pour votre mât ou votre accastillage... si vous les entretenez bien !

- Pouvoir réflecteur de l'aluminium poli :

pour l'ultraviolet ..... 20 à 85 %
pour la lumière blanche .... 85 à 90 %
pour l'infra-rouge ..... 90 à 98 %

- Pouvoir émissif en % du corps noir :

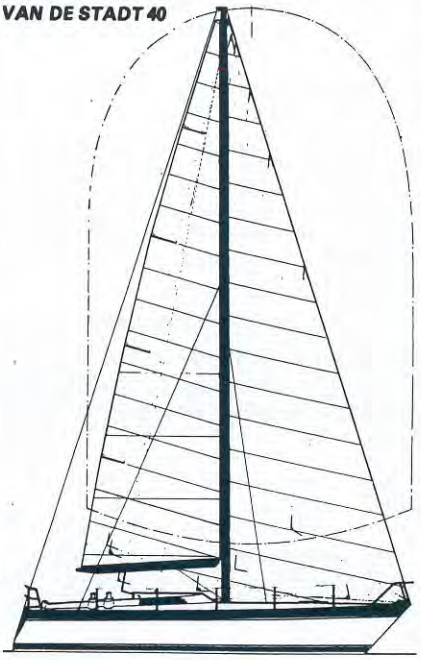
	Température °C				
	20	100	200	300	400
Métal poli	5	6	7	7,5	8
Métal non poli..	7	8	9		
Métal anodisé ..	50 à 80				

- Température d'ébullition (sous 760 mm Hg) : 2.056°C.
- Coefficient de dilatation (titre 99,9 %) :

Température °C	Coefficient de dilatation
— 33	21,07 × 10-6
0	22,00 × 10-6
20 à 100	23,80 × 10-6
100 à 300	25,70 × 10-6
300 à 400	29,50 × 10-6

- Chaleur spécifique (titre 99,9 %) μth/g. ° C :

Croquis A 10 :
VAN DE STADT 40



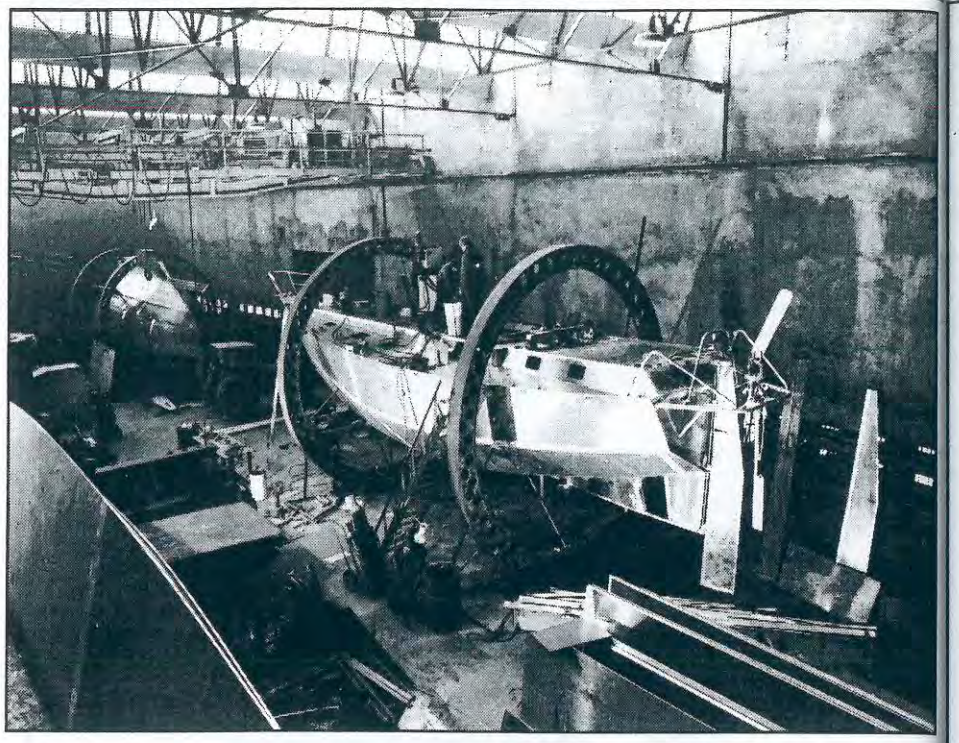
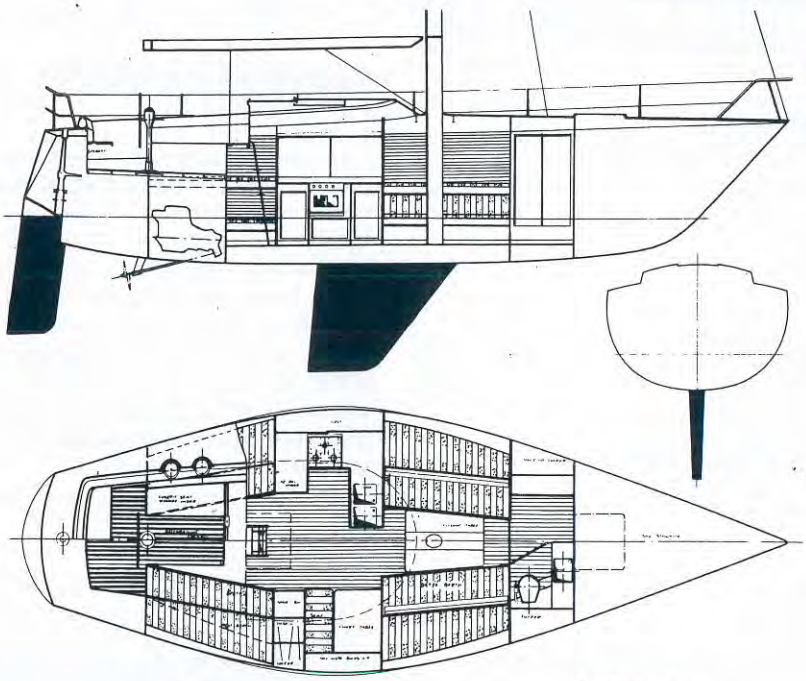
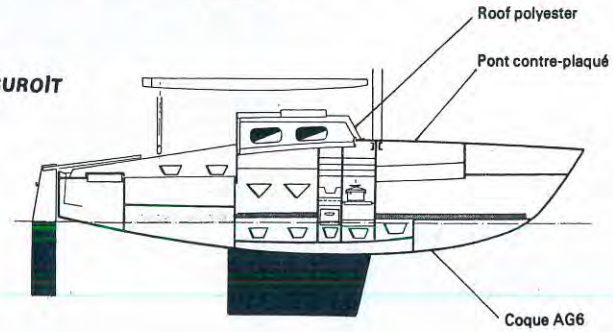
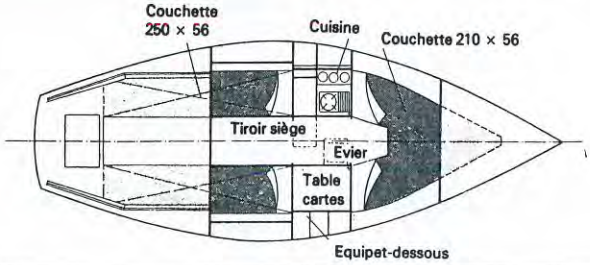


Photo A 6 : ***Les célèbres vireurs du chantier META.***



Croquis A 9 : ***SUROÎT***





Température ° C	Chaleur spécifique
0	0,22
100	0,23
500	0,26
658 sol.	0,273
658 liq.	0,25
800	0,257

- Changement de volume pendant la solidification : 6,6 %.
- Chaleur de fusion (titre 99,7 %) : 92 μth/g.
- Conductibilité thermique (titre 99,9 %) : μth.cm/cm².s.°C.

Température °C	Conductibilité thermique
0	0,502
20	0,520
100	0,523
200	0,536
500	0,499

- Résistivité électrique à 20° C :

Al %	Etat	Résistivité à 20° C $\mu\Omega$.cm²/cm
99,99	Recuit	2,64
99,5	Recuit	2,80 (*)
99,5	Ecroui	2,845 (*)

- Potentiel électrolytique par rapport à l'électrode normale à l'hydrogène = — 1,69 volt.
- Susceptibilité magnétique = 0,59.10⁻⁶CGS.

L'aluminium est très faible paramagnétique.

CARACTERISTIQUES MECANIQUES

- Module d'élasticité = 6700 hbar.
- Module de torsion = 2700 hbar.
- Coefficient de Poisson = 0,34.
- DURETE-MOHS = entre 2 et 3.

TABLEAU COMPARATIF DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES

	Aluminium 99,5 %	Acier doux	Acier inoxydable 18/8	Cuivre	Plomb	Zinc	Nickel
Densité à 20° C	2,7	7,85	7,9	8,96	11.34	7,14	8,8
Température de fusion ou de fusion commençante °C	658	1.450	1.425	1.083	327	419	1.455
Coefficient de dilatation linéaire entre 20 et 100°C	23.10^{-6}	12.10^{-6}	$17,3.10^{-6}$	$16,4.10^{-6}$	$29,3.10^{-6}$	$39,7.10^{-6}$	$13,3.10^{-6}$
Chaleur spécifique μth/g. °C à 20° C	0,23	0,10	0,12	0,09	0,03	0,09	0,11
Conductibilité thermique μth.cm/cm².s. °C à 20° C	0,52	0,11	0,038	0,92	0,083	0,27	0,23
Résistivité électrique $\mu\,\Omega$.cm²/cm à 20° C	2,85	11	70	1,7	20,6	5,9	6,8
Module d'élasticité kg/mm²	6.700	20.400	19.600	11.200	1.600	8.400	21.000

POTENTIELS DE DISSOLUTION

Valeurs moyennes pour l'aluminium, ses principaux alliages et divers autres métaux

dans une solution à 53 g/l de NaCl + 3 g/l de H_2O2
par rapport à l'électrode décinormale au Calomel

Matériau		Potentiel en volts
aluminium et alliages		
1050 A	A5	– 0,84
1199	A9	– 0,86
1200-1100	A4-A45	– 0,84
2014	A-U4SG	– 0,78
2017 A	A-U4G	– 0,69
2024	A-U4G1	– 0,69
3003	A-M1	– 0,83
3004	A-M1G	– 0,84
5005	A-G0,6	– 0,83
5056 A	A-G5M	– 0,87
5086	A-G4MC	– 0,86
5754 X	A-G3M	– 0,85
6060	A-GS	– 0,80
6081	A-SGM0,3	– 0,83
6082	A-SGM0,7	– 0,83
7051	A-Z3G2	– 0,87
7075	A-Z5GU	– 0,81
autres métaux		
magnésium		– 1,73
zinc		– 1,10
cadmium		– 0,82
acier doux		– 0,67
plomb		– 0,55
étain		– 0,49
laiton 60/40		– 0,28
cuivre		– 0,20
bismuth		– 0,18
acier inoxydable 18/8		– 0,15
acier inoxydable 18/14		– 0,10
métal Monel		– 0,10
argent		– 0,08
nickel		– 0,07
inconel		– 0,04

Nota :

Lorsque deux métaux sont « couplés » dans une solution conductrice, le métal qui possède le potentiel le plus négatif dans cette solution tendra à se dissoudre.

L'état d'écrouissage a une influence sur le comportement à la corrosion ; cette influence généralement faible n'est pas accusée par la mesure du potentiel de dissolution.

Par contre les valeurs des potentiels mesurés peuvent dépendre de l'état de surface de l'échantillon.

NOTES POUR LES CALCULS D'ECHANTILLONNAGE

Les alliages d'aluminium entrent fréquemment dans des fabrications où ils se trouvent en concurrence avec les aciers. Les méthodes de calcul sont les mêmes et bien établies.

Il faut cependant tenir compte d'un certain nombre de particularités des alliages d'aluminium qui imposent une marge de sécurité à apprécier :

- Le calcul des ouvrages en alliage d'aluminium est basé sur les théories courantes de l'élasticité.
- La charge de rupture varie selon les alliages.
- La limite élastique est de 6.900 à 700 Hbar, c'est-à-dire trois fois moins que l'acier.
- La flexibilité est donc plus grande de trois fois à charge égale, par rapport à l'acier (à section égale).
- A la compression, on note une certaine instabilité. Le flambement et le voilement tiennent de la limite élastique et du module d'élasticité. On assiste à des flambements locaux et à des torsions localisées qui nécessitent un calcul très détaillé, par exemple, des mâts, tangons, épontilles, etc...
- Le soudage modifie considérablement les caractéristiques mécaniques de certains alliages, ce qui fait l'objet de méthodes spécifiques de calcul.
- Des déformations répétitives à froid modifient, par leur cycle, l'écrouissage de certaines zones d'ouvrages travaillant (bordé d'une coque de voilier, pont, quille) et de ce fait, font apparaître entre une zone et une autre des différences de caractéristiques cristallines et mécaniques pouvant aller jusqu'au déchirement. Ce phénomène apparaît plus facilement sur des zones à forte courbure, forte mise en formes, que sur des zones peu rondes, où le métal est tendu. Sur des coques à bouchains, en tôles très fines et dans des régions peu structurées de ces coques, des efforts cycliques peuvent être plus néfastes que sur des coques en formes où le métal est écroui par le bordage.
- Par contre, une coque en formes, présente de plus grandes différences mécaniques entre une zone écrouie et une zone recuite.

De cela aussi, il faut tenir compte dans la conception et le calcul d'ouvrages en alliage d'aluminium.

PROPRIETES CHIMIQUES

L'aluminium a une affinité si grande pour l'oxygène qu'on peut l'utiliser pour réduire (calmer) certains oxydes tels que le fer et le manganèse etc., dans les bains de préparation de ces métaux et leurs alliages et dans des utilisations aluminothermiques.

On dit que l'aluminium s'auto-protège dans la mesure où il se recouvre d'un film d'alumine (AL_2O_3) très stable dans les conditions usuelles d'atmosphère. L'atmosphère marine sortant tout de même un peu de ce schéma contrairement à une idée admise par le passé. L'alumine s'oxyde d'autant moins que la pureté du métal est grande. Le comportement de l'aluminium et de ses alliages, vis-à-vis des corps liquides, solides et gazeux rencontrés dans chaque domaine spécifique est de la plus grande importance pour chaque industrie. Nous allons donc passer en revue l'action de quelques-uns de ces corps sur l'aluminium, sans oublier l'action électrochimique, afin de déterminer les dangers de corrosion et la façon d'y remédier.

Le mode d'attaque, ou de corrosion, de l'aluminium par divers corps est principalement une dissolution de la pellicule d'alumine (oxyde), puis un dépolissage de surface du métal, puis enfin une dissolution uniforme de l'aluminium. On peut aisément mesurer la perte de métal et chiffrer l'action chimique des corps étudiés. On verra que l'intensité de la migration du métal est fonction de facteurs tels que la température, l'hygrométrie, la concentration... Dans notre cas, la température et la salinité de l'eau de mer seront des éléments capitaux !

Métalloïdes

● La plupart des gaz dits rares, l'oxygène, l'hydrogène, l'ozone, le soufre, l'azote, n'ont pas d'action sur l'aluminium.

● D'autres sont inactifs en absence de traces d'humidité et par température basse : fluor, iode, brome, chlore, phosphore, arsenic, antimoine, le carbone.

● Par contre les données sont différentes en atmosphère humide en élevant la température. En présence d'un électrolyte, le carbone attaque l'aluminium.

Métaux

Voyez plus loin le tableau des couples galvaniques. L'attaque ne se produit qu'en présence d'un électrolyte. L'humidité de l'air suffit au mercure pour attaquer l'aluminium.

Eaux

Les eaux naturelles ont une action qui dépend des sels et composés en suspension. Les couches géologiques traversées par les pluies et les eaux de ruissellement ou d'infiltration déterminent l'action des eaux naturelles sur l'aluminium.

Une eau douce sera plus corrosive qu'une eau dure.

L'eau de mer est en général peu corrosive pour les alliages de la série 5000 riches en magnésium, A.G5 mais aussi A.G4 et A.G4,50.

Une eau contenant des sels de cuivre sera très corrosive. Des additifs à une eau en circuit fermé permettront de neutraliser une telle eau, vis-à-vis de récipients, conduites, appareils...

Souvent une protection par anode ou par un revêtement cathodique évitera cette corrosion.

Les eaux enrichies en oxygène ont peu d'action sur l'aluminium.

Acides minéraux

Sont sans action : l'anhydride sulfureux, l'acide sulfhydrique, le péroxyde d'azote (sans humidité), l'acide carbonique (sauf en présence d'eau), l'oxyde de carbone.

Ont une attaque variant avec la concentration : l'acide sulfureux, l'acide sulfurique, les acides sulfoniques, l'acide nitrique.

L'acide borique a une attaque qui augmente vite avec la hausse de température.

Ont une forte attaque : les acides chlorhydrique, fluorhydrique, chlorique, bromhydrique, iodhydrique, hypochloreux. L'acide phosphorique attaque par dissolution, comme les acides nitrique, sulfureux et sulfurique. Leur attaque augmente avec la concentration.

Acides organiques

Les acides formique, acétique, oxalique, lactique, tartrique, citrique, ont une faible action à froid, mais qui augmente vers 50° et croît avec la concentration.

Les acides gras ont une attaque d'autant plus forte que la masse moléculaire baisse et que la température augmente.

Des acides aromatiques seuls les acides benzoïque et salicylique attaquent.

Bases, amines, amides

Ammoniac, ammoniaque, toluidine, urée, etc., sont sans pouvoir corrosif.

On note une corrosion ponctuelle perforante en présence de chaux, strontiane, baryte. L'attaque est très violente avec la soude, la lithine, la potasse.

Aussi ne bloquera-t-on pas un lest avec du ciment dans un bateau en aluminium.

Alcalins

Sont sans action les sels d'ammonium, calcium, magnésium, chlorates, nitrates, sulfates, sulfites, bicarbonates, chromates, cyanures, permanganates, oxalates, tartrates, acétates, aluns. Cette notion se retrouvera dans les peintures pour bateaux en aluminium.

On trouve une attaque ponctuelle (par points) avec les chlorures, bromures, iodures, fluorures. Il existe une attaque par les hypochlorites, phosphates dibasiques, silicates alcalins.

Bicarbonate et borate attaquent à chaud.

Les phosphates tribasiques, sulfures ont une attaque très corrosive.

Hydrocarbures

Les butane, propane, méthane, acétylène, propylène, butadiène (hydrocarbures gras) comme les benzène, toluène, pétrole brut, essence, latex, n'ont pas d'action corrosive.

● Acétone, esters n'ont pas d'action : on pourra plastifier une pièce en aluminium.

● Les ethers ne corrodent pas l'aluminium.

● Bonne résistance au fuel-oil.

Alcools

Les alcools monovalents ont une corrosion qui augmente quand leur poids moléculaire diminue. Leur action se fait par piqûres.

Glycérine et glycol ne sont pas corrosifs.

Les colles phénoliques (résorcine) n'ont pas d'action à froid, mais sont corrosives dès qu'on atteint 60°. Un collage phénolique sur un pont sera corrosif.

Dans l'ensemble, les alliages riches en magnésium (5000), en manganèse (3000), en silicium et magnésium (6000) se comportent comme l'aluminium. De même les alliages au silicium pour produits moulés.

Au contraire les alliages au cuivre (série 2000) ont une moindre résistance chimique.

ELECTROCHIMIE, ELECTROLYSE

En présence d'un électrolyte l'aluminium peut former une pile avec un métal d'un voltage plus ou moins éloigné. Le métal qui forme l'anode de la pile se détruit plus ou moins vite selon la différence de voltage.

L'électrolyse de l'aluminium peut être du type ponctuel (piqûres et perforations). Ce peut être une dissolution par *« dislocation des grains du métal »* (sic). C'est l'électrolyte qui met en contact les deux métaux et rend possible l'échange moléculaire, la captation des molécules d'un métal par l'autre. Hors de la présence d'eau de mer qui produira cet effet de pile, mais aussi, d'une façon plus insidieuse, le brouillard salin et la simple humidité d'un dépôt salin (ou salé).

Tableau galvanique des différences de potentiels entre un aluminium A5 (1050A) et d'autres métaux, à 20°, dans une solution de chlorure de sodium

Magnésium	— 850
Zinc	— 300
Cadmium	— 20
Aluminium à 99,5 % de pureté	0
Acier	+ 150
Plomb	+ 250
Cuivre	+ 500
Inox (18/8) actif	+ 850
Argent	+ 900
Platine	+ 1000

L'aluminium captera donc les molécules du magnésium et du zinc, mais sera détruit par l'acier, le plomb, l'inox et le cuivre. **Ce qui très vite se traduit par ces conclusions :**

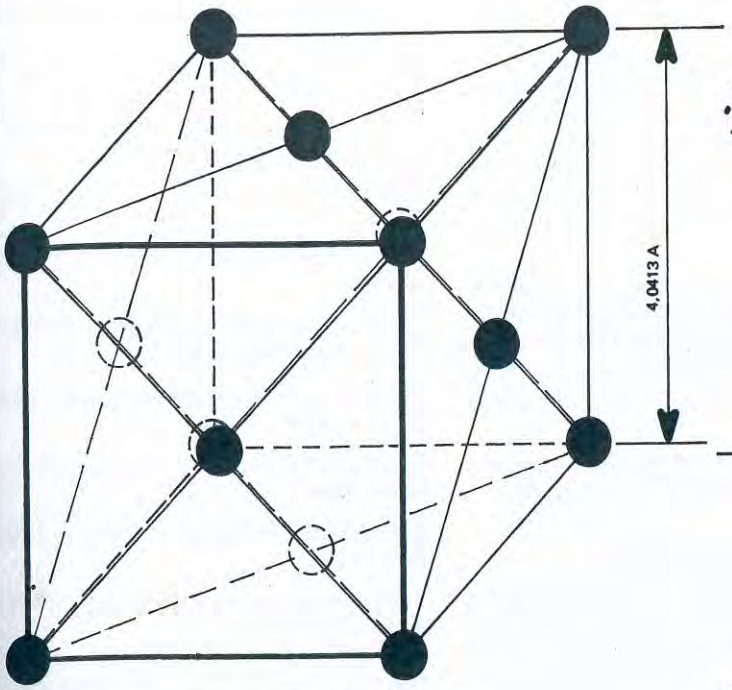
● Le magnésium et le zinc protègeront l'aluminium, on en fera des anodes.

● Il faudra absolument éviter tout contact par l'intermédiaire de l'électrolyte qu'est l'eau de mer et un élément en cuivre, inox, plomb ou acier, avec une coque en aluminium, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur. Un lest en plomb ou en acier devra être isolé, etc.

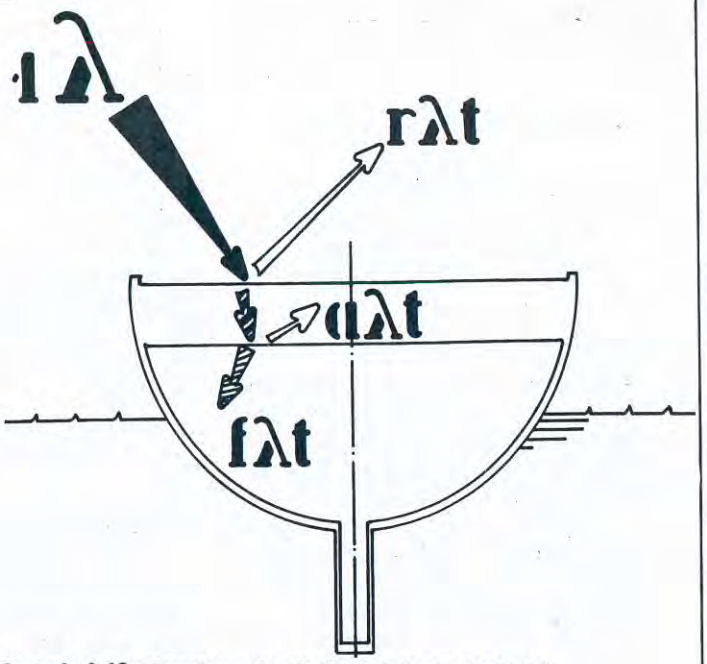
Plus la valeur négative par rapport à l'aluminium est grande (— 850 pour le magnésium) plus l'aluminium capte vite le métal concerné.

Plus la valeur positive est grande

Vous avez le bateau dans le cœur et la croisière dans la tête, alors lisez notre mensuel Loisirs Nautiques. Abonnez-vous. Vous trouverez nos conditions d'abonnement en fin de ce numéro.



Croquis A 11 : *Structure cristalline de l'aluminium.*



Croquis A 12 : *Transformation de l'énergie du rayonnement monochromatique.*

Croquis A 13

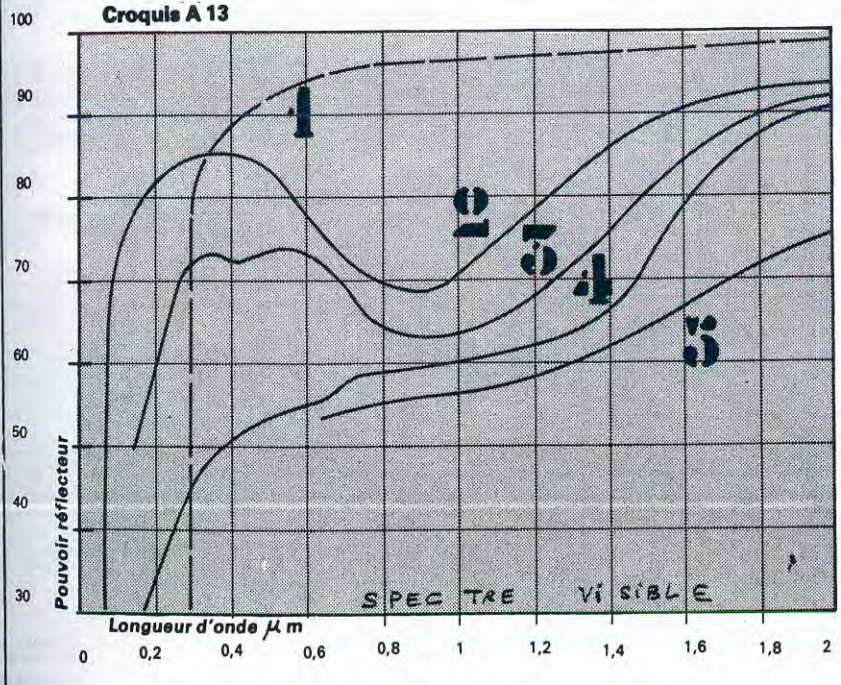


Diagramme de Schenk : *Pouvoir réflecteur de cinq surfaces métalliques en fonction de la longueur d'onde.*
1. Argent poli.
2. Aluminium à 99,99 % anodisé.
3. Aluminium à 99,99 % poli.
4. Chrome poli.
5. Acier doux poli.



Photo A 7 : *Un « VULCAIN » au chantier Brument. Notez les embases de chandeliers et balcon, ainsi que la ferrure d'étrave et le blocage de l'ancre qui évite de rayer le haut du bordé.*

(+ 850 pour l'inox) et plus l'aluminium est vite détruit.

La concentration en sel et la température de l'eau de mer accroissent la migration moléculaire. En Méditerranée et aux Antilles, la corrosion par électrolyse sera plus forte qu'en Mer du Nord ou vers le Groenland. Localement, des déchets en solution dans l'eau de mer, dans des ports industriels, près des grandes villes, peuvent aussi accroître l'action électrolytique.

Entre l'acier et l'aluminium une simple peinture primaire au chromate de zinc empêchera la corrosion de l'aluminium par l'acier. Il sera ainsi possible de réaliser des constructions mixtes acier-alu à condition de bien réaliser l'isolation décrite ci-avant. On trouve beaucoup de ces réalisations dans les Marines de guerre et de commerce et sur les unités de plaisance de grande taille. La coque est en général en acier et c'est le pont qui est en alu. On allie ainsi la solidité de l'acier à la légèreté de l'alu.

La passivation de l'inox (par une pâte à passiver par exemple) lui ôte toute réaction électrolytique contre l'aluminium. On ne saurait toutefois réaliser un tel mariage sous la flottaison. Sur un pont cela reste possible. Mais la tenue d'une telle liaison reste soumise à la fluctuation des agents environnants.

Sa longévité ne pourra être garantie : boulons inox dans un pont en aluminium, etc. Il faudra isoler l'inox de l'aluminium... pour dormir tranquille (peinture ou joint étanche). *(Photo A 7. Croquis A 11 à A 13).*

9

CLASSIFICATION ET ETAT DE L'ALUMINIUM ET ALLIAGES

CLASSIFICATION

Dans les tableaux de classification des désignations normalisées (Normes Afnor), les aluminiums et alliages sont classés par leur composition et les éléments principaux d'addition.

On a aussi rencontré les tableaux de classification des modes d'élaboration et des états des aluminiums et alliages en produits de fonderie ou corroyage.

Il existe aussi des classements plus complets qui permettent de tenir compte des qualités mécaniques et des traitements thermiques des produits de fonderie ou de corroyage.

Il est bien évident que dans le choix d'un aluminium ou d'un alliage les caractéristiques mécaniques sont largement prise en compte. La composition des alliages et les divers traitements thermiques ont justement pour rôle de leur conférer des caractéristiques mécaniques spécifiques intéressantes alors que les aluminiums purs sont généralement pauvres en la matière.

On détermine selon les additifs métalliques faits aux aluminiums de base, deux catégories d'alliages :

- Les alliages *« non trempants »*, sans durcissement structural, sans traitement thermique.
- Les alliages *« trempants »*, à durcissement structural, à traitement thermique.

Alliages trempants

La trempe est un procédé de traitement par mise en solution. **Ce traitement est suivi d'un durcissement structural qui peut être fait à température ambiante naturelle :** vieillissement ou maturation naturels. Ce durcissement structural peut aussi être fait à chaud : viellissement artificiel ou revenu.

Les alliages de fonderie ainsi traités sont :

- Des alliages d'aluminium + silicium et magnésium A. S2GT ; A. S7G ; A. S10G. On pourra rencontrer ces compositions pour des pièces de mât.
- Des alliages au cuivre (A. U4NT ; A. U5GT).
- Des alliages au zinc et magnésium (A. Z5G).

Les alliages de corroyage traités selon ce procédé sont :

- Les alliages au magnésium et silicium de la série 6000.
- Les alliages au cuivre et magnésium de la série 2000.
- Les alliages au zinc et magnésium de la série 7000.
- Les alliages au zinc, magnésium et cuivre de la série 7000.

En général, pour ces alliages, on opte pour une trempe à l'eau. Un revenu entre 100 et 200° est effectué ensuite. Pour certains alliages, une maturation naturelle de 30 à 90 jours de durée est effectuée et les caractéristiques s'améliorent plus vite

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET MÉCANIQUES COMPARÉES

Matériau	Propriétés mécaniques					Propriétés physiques				
	caractéristiques en traction			résist. cisaillement	module d'élas. ticité	masse spéci. fique (1)	chaleur spéci. fique (2) J	coef. de dilatation à 100°	conductivité therm. W	conductivité électr. %
	Rm N/mm²	Rp 0,2 N/mm²	$A_{5,65}$ %	N/mm²	N/mm²	g/cm³	kg.K	(X 10^{-6})	m.K	du cuivre
Aluminium et alliages										
1200 recuit	90	—	40	65	69.000	2,71	1.000	24,3	222	58
3003 recuit	115	—	40	75	69.000	2,73	920	23,9	192	50
3003 H 18	220	190	7	110	69.000	2,73	920	23,9	154	40
5754 recuit	220	100	23	130	71.000	2,66	960	24,5	125	33
5754 H 38	310	270	5	165	71.000	2,66	960	24,5	125	31
6081 recuit	110	50	40	80	70.000	2,71	960	25	188	45
6081 T6	320	280	14	210	70.000	2,71	960	25	163	40
2024 T4	460	320	18	290	73.000	2,77	920	23,6	121	30
Laiton										
Recuit	315	85	50	230	105.000	8,4	380	18,3	121	26
Dur	530	315	8	300	105.000	8,4	380	18,3	121	26
Bronze										
Recuit	325	150	60		112.000	8,8	380	17,2	79	18
Dur	565	525	10		112.000	8,8	380	17,2	79	18
Cuivre										
Recuit	235	70	45	160	119.000	8,9	380	16,4	388	100
Dur	350	315	6	195	119.000	8,9	380			
Fer										
Fonte grise	210	175	0,5	305	98.000	7,1	540	10,1	50	2
Acier laminé à chaud	420	265	30	315	196.000	7,8	460	11,7	58	12
Acier inox 18/8										
Acier recuit	630	280	55	470	203.000	7,9	500	17,3	17	2,4
Acier dur	1.050	875	15	785	203.000	7,9	500	17,3	17	2,1
Zinc										
Coulé coquille	280	180	5	215		6,6	420	27,3	113	27
Magnésium										
Alliage laminé	310	225	14	140	46.000	1,8	1.040	25,9		13
Métal Monel										
Recuit	560	245	40	320	162.000	8,8	540	14		3,6
Dur	770	700	8	610	162.000	8,8	540	14		3,6

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DE DIVERS ALLIAGES						
Alliage	état métallurgique	masse spécifique (1) g/cm³	coefficient de dilatation 20 à 300°C (X 10⁻⁶)	conductivité thermique à 20°C W/m.K	conductivité électrique à 20°C MS.m⁻¹ (2)	résistivité électrique $\mu\Omega$ cm
1050 A	0	2,70	25,4	222	35,5	2,8
	H18	2,70	25,4	222	35	2,9
1200	0	2,71	25,4	222	34	2,9
	H18	2,71	25,4	222	33	3
2014	0	2,80	24,2	190	29	3,4
	T4	2,80	24,2	120	17	5,7
	T6	2,80	24,2	155	23	4,3
2017 A	0	2,79	24,6	190	29	3,4
	T4	2,79	24,6	129	20	5,1
2024	0	2,77	24,6	190	29	3,4
	T4	2,77	24,6	121	17	5,7
2030	T3	2,85	24	138	23,3	5,7
2117	T4	2,74	25,3	155	23	4,3
2618 A	T6	2,76	24	140	22	4,5
3003	0	2,73	25	192	29	3,4
	H18	2,73	25	155	23	4,3
3004	0	2,72	25	163	24	4,1
5005	0	2,70	25,5	200	30	3,3
5056 A	0	2,63	26	117	16,2	6
5086	0	2,65	25,7	125	18	5,5
5754	0	2,66	25,7	125	18	5,5
6060	0	2,70	25,3	220	33,5	3
	T5	2,70	25,3	200	30,8	3,3
6081	0	2,71	26	188	26	3,8
	T6	2,71	26	163	23	4,3
7075	T6	2,80	25,1	121	17	5,7

pendant les premiers jours de la maturation.

Alliages non trempants

Sans traitement de durcissement structural, les caractéristiques mécaniques de ces alliages, par rapport à celles des aluminiums de base, sont rendues plus performantes par l'écrouissage. Cet écrouissage s'accompagne d'une perte des possibilités de déformations à froid.

Les alliages de fonderie ainsi traités sont l'A.M4, l'A.G3T, l'A.G4Z, l'A.G6, des alliages au silicium et l'A.U8S au cuivre.

On traite ainsi les alliages destinés à la fabrication de fil d'apport dans la soudure, au silicium (série 4000).

Les alliages corroyés non trempants sont :

- Les alliages au manganèse de la série 3000.
- Les alliages au magnésium de la série 5000. A partir d'une température 75° interviennent des transformations cristallines qui limitent les usages de ces alliages. Il existe toutefois un traitement d'insensibilisation à la température, par chauffage à 240°C pendant 24 heures. *(Photo A 8).*



Photo A 8 : *Coque en forme construite dans ses vireurs (photo C.I.R.C.).*

PRINCIPAUX ALLIAGES D'ALUMINIUM DE FONDERIE

Alliages	Etat	Caractéristiques mécaniques moyennes (3)						Aptitudes technologiques									Composition chimique (approximative)
								Résistance à l'action de				A l'anodisation de		Propriétés physiques			
		R MPa	LE M P a	A %	HB	Module élasticité MPa	Limite de fatigue MPa	Atmosp.	Air marin eau mer	Soudure TIG et MIG	Usinage	Protection	Décoration	Masse Volumique g/cm³	Conductibilité thermique W/m/K	Coefficient dilatation linéaire entre 20 et 100°C	
A-5/LR	Y 30	75	25	40	25	67.500		E	B	B	I	E	E	2,70	210	24 x 10⁻⁶	Fe = 0,17 – 0,28
	Y 40	75	25	40	25			»	»	I		E	I				
A-G3T	Y 20	180	85	12	60	69.000		E	E	E	E	E	E	2,67	145	24 x 10⁻⁶	Mg = 2,7 – 3,3
	Y 30	180	85	16	65			E	E	E	E	E	E	»	»	»	
A-G6Be	Y 20	195	115	6	65	69.000		E	E	E	E	E	B	2,64	125	24 x 10⁻⁶	Mg = 5,5 – 6,5
	Y 30	220	120	9	70	69.000		E	E	E	E	E	B	»	»		
A-G10SBe	Y 40	200	–	–	2	69.000		E	E	A	E	E	I	2,55	90	25 x 10⁻⁶	Si = 0,70 – 1,0 Fe = 0,3 – 0,5 Mg = 9,3 – 10,7
A-U5GT	Y 23	420	395	3	125	72.000		A	I	I	E	A	B	2,80	140	23 x 10⁻⁶	Fe = 0,12 – 0,23
	Y 24	400	265	14	110			A	I	I	E	A	B				Cu = 4,3 – 4,9
	Y 33	420	380	8	125			A	I	I	E	A	B				Mg = 0,25 – 0,35
	Y 34	400	250	21	110		130	A	I	I	E	A	B				Ti = 0,17 – 0,23
A-U8S	Y 20	160	125	0,5	85	70.000		I	I	A	E	I	I	2,85	110	23 x 10⁻⁶	Si = 2,2 – 3,8
	Y 30	190	130	0,5	90			I	I	A	E	I	I				Cu = 6,3 – 8,2
A-Z5G	Y 25	205	140	6	70	72.000		B	B	B	E	B	B	2,80	140	23 x 10⁻⁶	Mg = 0,55 – 0,70
	Y 29	205	120	9	65			B	B	B	E	B	B				Zn = 4,7 – 5,3
A-S2GT	Y 30	180	90	9	55	70.000		B	B	B	B	E	E	2,70	160	22 x 10⁻⁶	Si = 1,7 – 2,3
	Y 33	300	240	12	90			B	B	B	B	E	E				Mg = 0,50 – 0,65
A-S7G	Y 20	170	90	4	55	74.000		B	B	B	A	E	I	2,68	160	21,5 x 10⁻⁶	Si = 6,7 – 7,3
	Y 23	250	200	3	90			B	B	B	B	E	I				Mg = 0,30 – 0,40
	Y 30	190	90	10	55			B	B	B	A	E	I				
	Y 33	280	200	11	90			B	B	B	B	E	E				
A-S7G03	Y 23	270	200	5	90	74.000		B	B	B	B	E	I	2,68	160	21,5 x 10⁻⁶	Si = 6,7 – 7,3
	Y 30	190	90	14	55			B	B	B	A	E	I				Mg = 0,30 – 0,40
	Y 33	280	200	16	90			B	B	B	B	E	I				
A-S7G06	Y 23	275	250	1,5	100	74.000		B	B	B	B	E	I	2,68	160	21,5 x 10⁻⁶	Si = 6,7 – 7,3
	Y 33	330	290	9	110			B	B	B	B	E	I				Mg = 0,50 – 0,60
A-S10G	Y 20	170	65	4	60	76.000		B	B	B	A	E	I	2,65	160	20,5 x 10⁻⁶	Si = 9,3 – 10,3
	Y 23	260	215	2	95			B	B	B	B	E	I				Mg = 0,25 – 0,35
	Y 30	195	95	9	60			B	B	B	A	E	I				
	Y 33	290	215	10	95			B	B	B	B	E	I				
A-S13	Y 20	165	80	7	55	76.000		B	B	E	I	E	I	2,65	165	20 x 10⁻⁶	Si = 12,2 – 13,2
	Y 30	180	80	10	55			B	B	E	I	E	I				
S5U3	Y 20	180	150	0,5	75	72.000		I	I	E	B	A	I	2,75	120	22 x 10⁻⁶	Si = 4,7 – 5,3 Cu = 2,9 – 3,5
	Y 30	220	150	1,5	75			I	I	E	B	A	I				Mg = 0,15 – 0,25
A-S9U3	Y 40	200	–	1	–	76.000		A	I	A	B	A	I	2,76	105	21 x 10⁻⁶	Fe = 1,3 Zn = 1,2 Si = 7,5 – 10 Cu = 2,5 – 4,0
67 M et 67 B*	Y 23	275	200	6	90	74.000		B	B	B	B	E	I	2,68	160	21,5 x 10⁻⁶	Si = 6,7 – 7,3
	Y 30	200	90	16	55			»	»	»	A	»	»				Mg = 0,30 – 0,40
	Y 33	290	200	18	90		110	»	»	»	B	»	»				
67 R*	Y 30	200	90	14	55	74.000	90	B	B	B	A	E	I	2,68	160	21,5 x 10⁻⁶	Si = 6,7 – 7,3
	Y 33	280	190	18	85		105	»	»	»	B	»	»				Mg = 0,30 – 0,40
67 S*	Y 30	200	90	14	55	74.000		B	B	B	A	E	I	2,68	160	21,5 x 10⁻⁶	Si = 6,7 – 7,3
	Y 33	290	200	16	90			B	B	B	B	E	»				Mg = 0,30 – 0,40
67N1 et 67B1*	Y 23	285	250	2	100	74.000		B	B	B	B	E	I	2,68	160	21,5 x 10⁻⁶	Si = 6,7 – 7,3
	Y 33	325	250	14	100		105	»	»	»	»	»	»				Mg = 0,50 – 0,60
67 R 1	Y 33	325	250	14	100	74.000	110	B	B	B	B	E	I	2,68	160	21,5 x 10⁻⁶	Si = 6,7 – 7,3 Mg = 0,50 – 0,60
69 N	Y 23	280	220	4	95	76.000		B	B	B	B	E	I	2,65	160	20,5 x 10⁻⁶	Si = 9 – 10
	Y 30	200	95	14	60			»	»	»	A	»	»				Mg = 0,30 – 0,40
	Y 33	300	220	14	95			»	»	»	B	»	»				
69 S*	Y 30	200	95	12	60	76.000		B	B	B	A	E	I	2,65	160	20,5 x 10⁻⁶	Si = 9 – 10
	Y 33	300	220	12	95			B	B	»	B	»	I				Mg = 0,30 – 0,40
61 S*	Y 30	180	80	14	55	76.000	70	B	B	E	A	E	I	2,65	160	20,5 x 10⁻⁶	Si = 10,3 – 11,3 Mg = 0,15 – 0,25
41 R*	Y 30	170	70	17	50	76.000	60	B	B	E	A	E	I	2,65	165	20,5 x 10⁻⁶	Si = 10,5 – 11,5 Fe = 0,16 – 0,27
43 P*	Y 30	150	80	4	60	76.000		B	B	E	I	E	I	2,65	165	20 x 10⁻⁶	Si = 12,5 – 13,5 Fe = 0,35 – 0,55
82 N*	Y 33	300	260	1,0	110	76.000		A	I	B	B	B	I	2,72	115	19 x 10⁻⁶	Si = 10,7 – 11,7 Cu = 1,15 – 1,45
	Y 35	240	200	1,5	85			A	I	B	B	B	I				Mg = 1,20 – 1,50 Ni = 0,85 – 1,15
82 P 1*	Y 33	300	260	0,5	110	76.000		A	I	B	A	B	I	2,72	115	19 x 10⁻⁶	Si = 11,8 – 12,7 Mg = 1,20 – 1,50
	Y 35	240	200	1,0	85			A	»	B	A	B	I				Cu = 1,15 – 1,45 Ni = 0,85 – 1,15
85 R*	Y 30	240	170	2	70	72.000		A	I	E	E	A	I	2,75	120	22 x 10⁻⁶	Si = 4,7 – 5,3
	Y 33	415	345	4	125			»	I	»	»	»	»				Cu = 2,7 – 3,3
	Y 34	360	220	9	100			»	I	»	»	»	»				Mg = 0,30 – 0,40

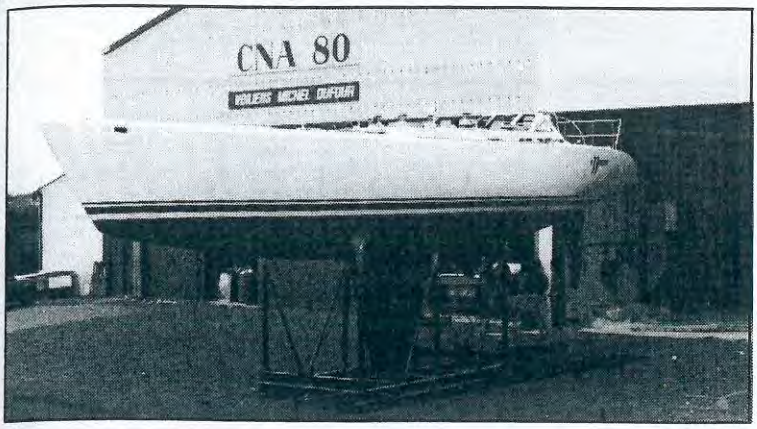
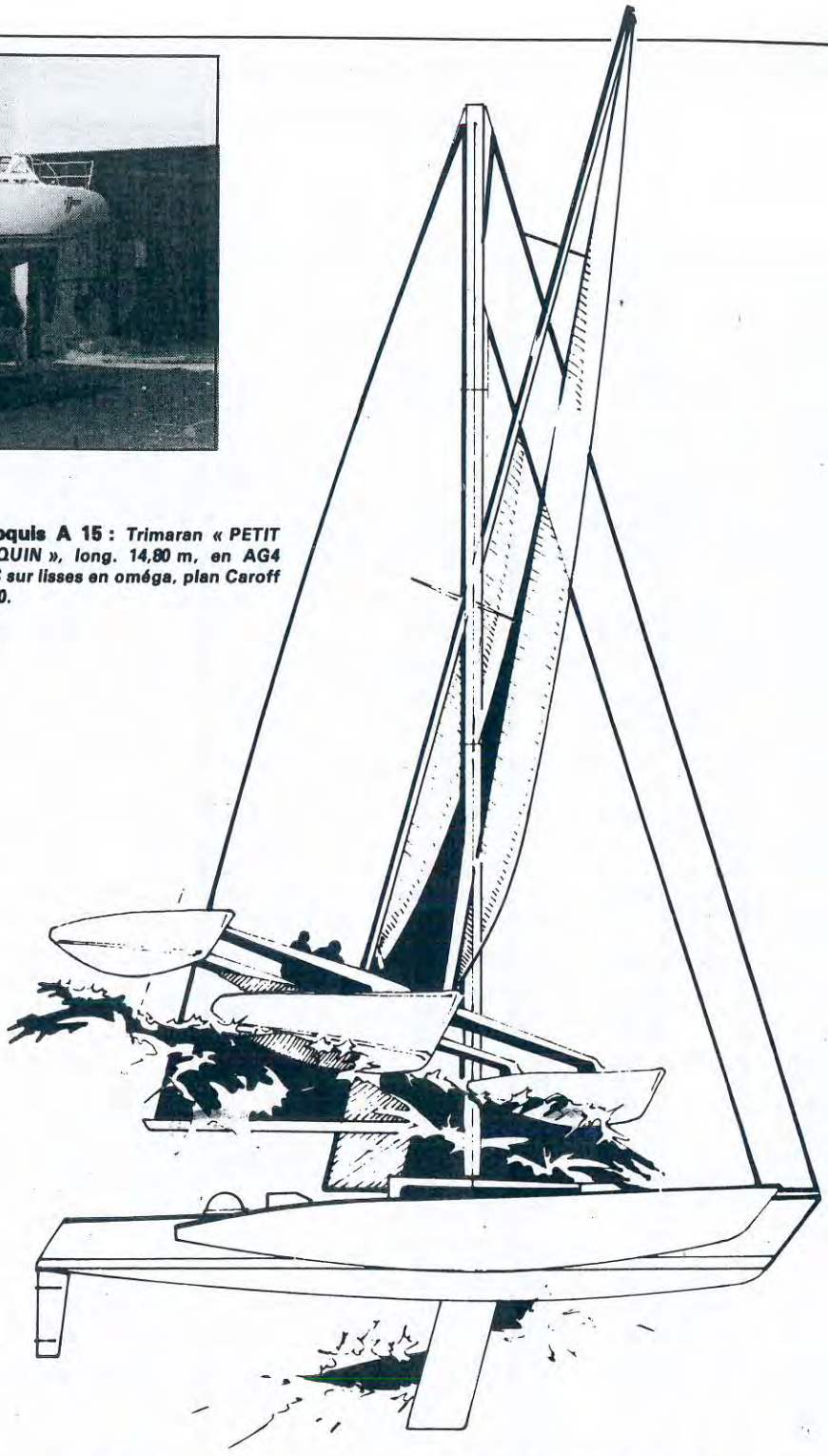


Photo A 9 : *« 33 EXPORT » (photo Dufour-Aluminium).*



Croquis A 15 : *Trimaran « PETIT REQUIN », long. 14,80 m, en AG4 MC sur lisses en oméga, plan Caroff 1980.*

10
TRAITEMENTS THERMIQUES

LE RECUIT

Le recuit modifie la structure cristalline du métal, et partant ses caractéristiques physiques et mécaniques. Le métal est dit *« radouci »*. Le recuit lui donne une dureté minimale et une malléabilité maximum alors que l'écrouissage ou la trempe le durcissent.

Depuis l'état de métal écroui jusqu'à l'état de recuit complet, on note trois étapes visibles sur la courbe du traitement de recuit.

1 **Première zone à faible modification :** traitement de restauration. La structure cristalline (texture) est peu modifiée.

2 **Zone de modification de la texture :** une macrographie montre un changement d'orientation des nouveaux cristaux en formation. La charge à la rupture diminue de façon importante.

3 **A nouveau un état de faible transformation :** le métal est complètement recristallisé. En fin de traitement, la dureté est minimale et la malléabilité (plasticité) maximale ou optimale.

La dureté et la température du recuit sont contrôlées pour conférer à l'alliage recuit les caractéristiques souhaitées. De même des refroidissements sont effectués pour éviter un phénomène de trempe.

Des températures trop élevées provoquent des défauts importants tels que cristallisation secondaire ou grossière, brûlures, soufflures, etc.

On comprend dès lors l'importance des chauffes des opérations de soudage qui interviennent comme des recuits indésirables modifiant la texture du métal d'un bordé d'un bateau, ou d'un pont, dans le sens de sa perte de résistance à la rupture et de son ramollissement !

Le temps pendant lequel le traitement thermique est appliqué est aussi important que la température. La montée en température doit être aussi rapide que possible. Le temps de maintien de la température varie selon la composition de l'alliage ou de l'aluminium. La recristallisation doit être obtenue dans le plus court délai possible.

L'ECROUISSAGE

L'écrouissage augmente les qualités mécaniques d'un alliage. C'est une opération à froid consistant en une déformation plastique de la pièce.

La résistance à la traction, la limite élastique et la dureté sont améliorées. La résistante électrique augmente. La malléabilité (déformabilité) décroît.

A partir des états dur et écroui, on détermine des états de résistance à la traction. Ces états s'obtiennent par une déformation limitée, à froid, à partir de l'état recuit, ou par des recuits de restauration contrôlés. Ces recuits sont dits adoucissants et s'appliquent au métal très fortement écroui préalablement pour l'adoucir de façon progressive.

Le taux d'écrouissage se définit par une réduction de section exprimée par la formule :

$$\frac{S - s}{S} \times 100 \text{ (NF A.02.011)}$$

S est la section avant l'écrouissage.
s est la section après l'écrouissage.
Pour les produits laminés, cette

PRINCIPAUX ALLIAGES D'ALUMINIUM CORROYÉS

Formes commerciales	SYMBOLE	ETAT	Caractéristiques mécaniques moyennes						Aptitudes technologiques										
			LE MPa	R MPa	A %	Pliage à 180°	HB	Module Elasticité Mpa	Résis. à l'action de : Atmos.	Résis. à l'action de : Air Marin eau mer	Soudure TIG et MIG	Usinage	Emboutissage	A l'anodisation de : Protection	A l'anodisation de : Décoration	Propr. phys. : Masse volumique g/cm³	Propr. phys. : Conductibilité thermique W/m/K	Coefficient dilatation linéaire entre 20 et 100° C	Composition chimique (Approximative)
Tôles Bandes Barres Fils, tubes Profilés	1050 A (A5)	Recuit 0 1/4 dur H12 1/2 dur H14 3/4 dur H16 dur H18	— 85 100 120 140	80 100 120 140 165	45 14 11 8 7	0 1 2 3 —	20 30 35 40 45	69.000 » » » »	E E E E E	B B B B B	E E E E E	I I A A A	E E B B A	E E E E E	A A A A A	2,70 — — — —	 222 	23,3 × 10⁻⁶ — — — —	Al = 99,50
Barres Tubes	2011	Trempé écroui T3	250	300	10	—	—	70.000	A	I	I	E	—	A	A	2,82	146	22,9 × 10⁻⁶	Cu = 5,0 — 6,0
Tôles Bandes Barres Tubes Profilés	2014 (A-U4SG) 2014	Recuit 0 Trempé mûri T4 Trempé rev. T6	100 280 430	200 420 480	20 18 12	0 3 —	45 105 135	74.000 » »	A A A	I I I	I I I	A B B	B I I	A A A	A A A	2,80 » »	— — 155	22,2 × 10⁻⁶ — —	Cu = 3,9 — 5,0 Mn = 0,4 — 1,2 Mg = 0,2 — 0,8 Si = 0,5 — 1,2
Tôles Barres Fils - Tubes Profilés	2017 A (A-U4G)	Recuit 0 Trempé mûri T4	100 280	200 420	20 18	0 3	45 105	74.000 »	A A	I I	I I	A B	B I	A A	A A	2,79 »	— 129	22,6 × 10⁻⁶ —	Cu = 3,5 — 4,5 Mn = 0,4 — 1,0 Mg = 0,4 — 1,0
Tôles Barres Fils Profilés	2024 (A-U4G1)	Recuit 0 Trempé mûri T4	100 320	200 460	20 18	0 4	45 120	73.000 »	A A	I I	I I	A B	B I	A A	A A	2,77 »	— 121	22,8 × 10⁻⁶	Cu = 3,8 — 4,9 Mn = 0,3 — 0,9 Mg = 1,2 — 1,8
Barres Tubes	2030	Trempé mûri T4	280	420	12	—	105	71.000	A	I	I	E	—	A	A	2,85	138	23,5 × 10⁻⁶	Cu = 3,5 — 4,5 Mn = 1,0 Mg = 0,5 — 1,3 Pb = 0,8 — 1,5
Tôles	2117 (A-U2G)	Trempé mûri T4	150	250	22	1	70	72.000	A	A	A	A	B	B	A	2,74	155	23,1 x 10⁻⁶	Cu = 2,2 — 3,0 Mg = 0,2 — 0,5
Tôles Barres	2618A (A-U2GN)	Trempé rev. T6	400	460	10	—	125	72.000	A	A	I	B	I	B	A	2,75	140	22 × 10⁻⁶	Fe = 0,9 — 1,4 Cu = 1,8 — 2,7 Mg = 1,2 — 1,8
Tôles Disques (0,5 à 2 mm)	3002	Recuit 0 1/4 dur H22 1/2 dur H24 3/4 dur H26 dur H38	45 — 130 — —	85 115 145 175 205	45 — 16 — —	— — — — —	— — — — —	69.000 » » » »	E E E E E	E E E E E	E E E E E	— — — — —	E B B — —	E E E E E	E E E E E	2,73 — — —	 — 	23 × 10⁻⁶ — — — —	Mn = 0,10 — 0,25 Mg = 0,05 — 0,20
Tôles Bandes Barres Fils - Tubes Profilés	(AM1) 3003	Recuit 0 1/2 dur H14 dur H18	— 140 190	115 160 220	40 8 7	0 2 —	30 40 60	69.000 » »	E E E	B B B	E E E	A A A	E A I	E E E	A A A	2,73 — —	192 — 155	23 × 10⁻⁶ — —	Mn = 1,0 — 1,5
Tôles	(AM 1 G) 3004	Recuit 0 1/2 dur H14 3/4 dur H36	— 200 230	180 240 260	22 8 7	0 3 —	45 64 70	69.000 » »	E E E	B B B	E E E	A A A	E A I	E E E	B B B	2,72 — —	163 — —	23 × 10⁻⁶ — —	Mn = 1,0 — 1,5 Mg = 0,8 — 1,3
Tôles Bandes	3005 (A-MG 0,5)	Recuit 0 1/2 dur H14	— 160	130 190	30 7	0 4	— —	69.000 »	E E	B B	E E	A A	E A	E E	A A	2,70 —	—	23 × 10⁻⁶	Mn = 1,0 — 1,5 Mg = 0,2 — 0,5
Tôles Barres Fils Tubes Profilés	(A-G06) 5005	Recuit 0 1/4 dur H12 1/2 dur H14 3/4 dur H36 dur H38	— 110 140 150 180	120 140 160 180 210	30 13 8 7 5	0 0 1 — 	30 35 40 45 50	70.000 » » » »	E E E E E	B B B B B	E E E B B	A A A B B	E A A I I	E E E E E	B B B B B	2,70 — — — —	200 — — — —	23,4 × 10⁻⁶ — — — —	Mg = 0,50 — 1,1
Tôles Barres Tubes	5052	Recuit 0 1/2 dur H24	90 200	190 250	24 12	0 1	50 70	70.000 »	E E	B B	E E	A A	E A	E E	B B	2,68 —	138 —	23,5 × 10⁻⁶	Mg = 2,2 — 2,8

formule devient :

$$\frac{E - e}{E}$$

E est l'épaisseur avant l'écrouissage.
e est l'épaisseur après écrouissage.
Le taux d'écrouissage s'exprime souvent par la conjonction des deux formules.

L'écrouissage, déformation à froid, s'obtient :

- **Par laminage pour les tôles, disques, flans, bandes.**
- **Par filage pour les profilés, les tubes.**
- **Par étirage et tréfilage pour les produits filés de forme simple.**
- **Par planage, dressage, emboutissage, chaudronnage. Ces opérations écrouissent le métal et augmentent sa limite élastique.**

Il est possible aussi de combiner des étapes d'écrouissage et de recuits thermiques pour des produits spéciaux hautement contrôlés.

DURCISSEMENT, TREMPE STRUCTURALE

C'est une succession d'étapes visant à rendre le métal plus malléable puis à lui conférer les caractéristiques voulues :

PRINCIPAUX ALLIAGES D'ALUMINIUM CORROYÉS (suite)

Formes commerciales	SYMBOLE	ETAT		Caractéristiques mécaniques moyennes						Aptitudes technologiques										
										Résis. à l'action de					A l'anodisation de		Propr. phys.		Coefficient dilatation linéaire entre 20 et 100° C	Composition chimique (Approximative)
				LE MPa	R MPa	A %	Pliage à 180°	HB	Module Elasticité Mpa	Atmos.	Air Marin eau mer	Soudure TIG et MIG	Usinage	Emboutissage	Protection	Décoration	Masse volumique g/cm³	Conductibilité thermique W/m/K		
Barres Fils - Tubes Profilés	5056	Recuit 1/2 dur	0 H24	150 290	320 360	20 8	— —	70 92	71.000 »	B B	B B	E E	A A	B I	E E	A A	2,63	117	24×10^{-6}	MN = 0,1—0,6 Mg = 4,5 — 5,6
Tôles Barres Tubes Profilés	5083 (A-G4,5OMC)	Recuit 1/4 dur	0 H22	140 240	300 330	18 12	— —	70 85	71.000 »	B B	B B	E E	A A	B A	E E	A A	2,63 »	117 —	$23,5 \times 10^{-6}$ —	Mn = 0,40 — 1,0 Mg = 4,0 — 4,9
Tôles - Fils Tubes Profilés	5086 (A-G4MC)	Recuit 1/2 dur	0 H34	120 250	270 330	22 8	1 4	65 85	71.000 »	E E	E E	E E	B B	B A	E E	B B	2,65 »	125 —	$23,5 \times 10^{-6}$ —	Mg = 3,5 — 4,5 Mn = 0,2 — 0,7
Tôles	5150 (A-85GT)	Recuit 3/4 dur	0 H26	— 190	150 210	25 8	0 3	— —	69.000 »	E E	E E	E E	I A	E I	E E	E E	2,69 »	188 —	$23,4 \times 10^{-6}$ —	Mg = 1,3 — 1,7
Barres Fils - Tubes Profilés	5251	Recuit Dur	0 H18	— 200	190 240	14 2	— —	— —	69.000 »	E E	E E	B B	A A	E A	E E	B B	2,68	146	$23,5 \times 10^{-6}$	Mn = 0,1 — 0,5 Mg = 1,7 — 2,4
Tôles Barres Fils - Tubes	5454	Recuit 1/4 dur 1/2 dur	0 H22 H24	80 180 200	240 280 300	19 9 8	— — —	— — —	70.000 » »	E E E	E E E	E E E	A A A	E A A	E E E	B B B	2,68 » »	134 — —	$23,6 \times 10^{-6}$ — —	Mn = 0,50 — 1,0 Mg = 2,4 — 3,0
Tôles - Fils Barres Tubes Profilés	5754 (A-G3M)	Recuit 1/2 dur	0 H34	100 190	220 270	23 10	0 3	50 70	71.000 »	E E	E E	E E	B B	E B	E E	B B	2,66 »	125 —	$23,5 \times 10^{-6}$ —	Mg = 2,6 — 3,6
Barres Fils - Tubes Profilés	6060	Trempé Revenu	T4 T5	90 170	150 220	22 14	— —	— 65	69.000	E E	B B	B B	A A	— —	E E	B B	2,70	200	$23,2 \times 10^{-6}$	Si = 0,3 — 0,6 Mg = 0,35 — 0,6
Tôles Barres Fils - Tubes Profilés	6061	Recuit Trempé Trempé Revenu	0 T4 T6	60 130 270	120 230 310	28 23 13	2 3 —	30 65 95	69.000	E E E	A B B	B B B	 A	E A I	E E E	B B B	2,71 — —	— — 155	$23,6 \times 10^{-6}$	Si = 0,4 — 0,8 Mg = 0,8 — 1,2
Tôles	6081 (A-SGM0,3)	Recuit Trempé rev.	0 T6	50 280	110 320	40 14	— —	30 90	70.000	E E	B B	B B	 A	E I	E E	B B	2,71 —	— 163	24×10^{-6}	Si = 0,7 — 1,1 Mn = 0,1 — 0,45 Mg = 0,6 — 1,0
Barres Tubes Profilés	6082	Trempé revenu	T6	280	320	14	—	90	70.000	E	B	B	A	I	E	B	2,71	163	24×10^{-6}	Si = 0,7 — 1.3 Mn = 0,4 — 1,2 Mg = 0,6 — 1,2
Tôles Barres Fils - Tubes Profilés	7020 (A-Z5G)	Trempé revenu	T6	320	380	12	—	95	72.000	B	A	B	B	I	B	A	2,80	121	$23,5 \times 10^{-6}$	Mg = 0,9 — 1,5 Zn = 3,7 — 5,0 Ti + Zr = 0,08 — 0,25
Barres	7049 A	Trempé revenu	T6	530	610	5	—	—	73.000	A	A	I	B	—	A	A	2,80	121	$23,5 \times 10^{-6}$	Cu = 1,2 — 1,9 Mg = 2,1 — 3,1 Zn = 7,2 — 8,4
Fils Profilés	7051	Trempé	T4	250	370	18	—	75	72.000	B	B	B	B	—	B	B	2,75	121	$23,5 \times 10^{-6}$	Mg = 1,7 — 2,5 Zn = 3,0 — 4,0
Tôles Barres Tubes Profilés	7075 (A-Z5GU)	Trempé revenu	T6	480	540	10	—	145	72.000	A	A	A	B	I	A	A	2,80	121	$23,5 \times 10^{-6}$	Cu = 1,2 — 2,0 Mg = 2,1 — 2,9 Zn = 5,1 — 6,1

Mise en solution :

L'aluminium ou l'alliage en cours, est chauffé et maintenu à la température souhaitée. Des additifs solubles sont dissous dans l'aluminium solide.

Trempe :

On refroidit rapidement l'alliage, soit à l'air, dans de l'eau froide, tiède, bouillante ou de l'huile. La malléabilité de l'alliage est, à ce stade, voisine de celle de l'alliage recuit. Tel quel, l'alliage n'est pas stable et n'est pas utilisable sans les opérations suivantes :

Maturation :

A la température naturelle, l'alliage durcit et perd vite de sa déformabilité. Sa charge à la rupture, sa limite élastique et sa dureté augmentent. C'est la maturation naturelle.

Revenu :

Si la maturation naturelle se fait à la température ambiante, le revenu est une maturation forcée, accélérée. La limite élastique et la dureté sont encore accrues, la charge à la rupture est stabilisée.

HOMOGENEISATION

Les alliages obtenus par les opérations vues ci-dessus peuvent aussi subir d'autres traitements qui les complètent

ou les remplacent en vue d'obtenir des qualités particulières.

L'homogénéisation améliore les possibilités de laminage, filage, emboutissage, anodisation, et, en général toutes les transformations où la parfaite de la texture cristalline est nécessaire.

INSENSIBILISATION

Certains alliages sont particulièrement sensibles à la corrosion par précipitations intergranulaires à des températures s'élevant par exemple au-dessus de 70°. Un chauffage insensibilisateur ou désensibilisateur annule cette particularité. On porte par exemple des alliages au magnésium à une température de 240°C pendant 24 heures pour les désensibiliser. Ce traitement est aussi appelé inhibiteur.

REVERSION

Ce traitement adoucit et allonge la maturation d'alliages trempants. La maturation est beaucoup plus lente qu'avec une trempe et maturation naturelle.

STABILISATION

Il s'agit là encore de stabiliser les caractéristiques de divers alliages écrouis destinés à travailler à haute température. A ces températures de travail, on n'assiste alors pas à des transformations cristallines ou à des modifications dimensionnelles.

DETENTE

Lors des opérations de chauffe et refroidissements rapides, se forment des contraintes internes à la cristallisation des alliages. De façon que les caractéristiques mécaniques et dimensionnelles restent stables, le métal est détendu par des opérations limitées et contrôlées de chauffes et refroidissement.

Un chaudronnier de métier prend également soin de détendre le métal par des *« chauffes »* par passes rapides de flammes, après des opérations de mise en forme ou de soudage. *(Photo A 9. Croquis A 15).*

11

INDICATIONS D'EMPLOI DES PRINCIPAUX ALLIAGES

Les aluminiums de base, selon leurs états de cuisson, et les alliages selon leurs compositions et leurs traitements à froid ou thermique, possèdent des caractères qui les différencient et les rendent plus aptes à certains usages qu'à d'autres, voire les rendent inutilisables dans certains cas.

On les sélectionne pour telle ou telle future utilisation selon leurs caractéristiques chimiques, physiques ou mécaniques, leur stabilité chimique et électrochimique, leur conductibilité électrique.

Cependant la plupart des utilisations requièrent des qualités qu'on ne trouve pas toutes dans un même alliage ou que plusieurs alliages possèdent à des degrés divers. Si bien que le choix d'un aluminium ou d'un alliage est un compromis que le constructeur ou le concepteur pourra évaluer et calculer d'après les tableaux de caractéristiques que donne ce livre et qui sont capitaux pour définir une structure, calculer un échantillonnage.

Les services de l'Aluminium *Péchiney*, bureaux d'études, laboratoires d'analyse peuvent aider le technicien indécis dans son choix et le conseiller, tout comme ils ont été précieux pour l'élaboration de ce livre.

Voici des listes d'alliages dans leurs cas d'utilisation et classés selon leurs perspectives d'emploi.

DEFORMATION A FROID

Ce chapitre qui contient une bonne part des opérations du chantier naval est celui du chaudronnage, du roulage, du pliage, de l'emboutissage. C'est le bordage du bateau, la fabrication du pont, de la quille, des tôles pliées qui le renforcent. C'est la mise en forme du bordé, l'arrondi des bouchains.

On choisit des alliages possédant un bon pourcentage d'allongement à la rupture, une large tolérance de chauffe et de températures d'utilisation, des possibilités de recuits intermédiaires.

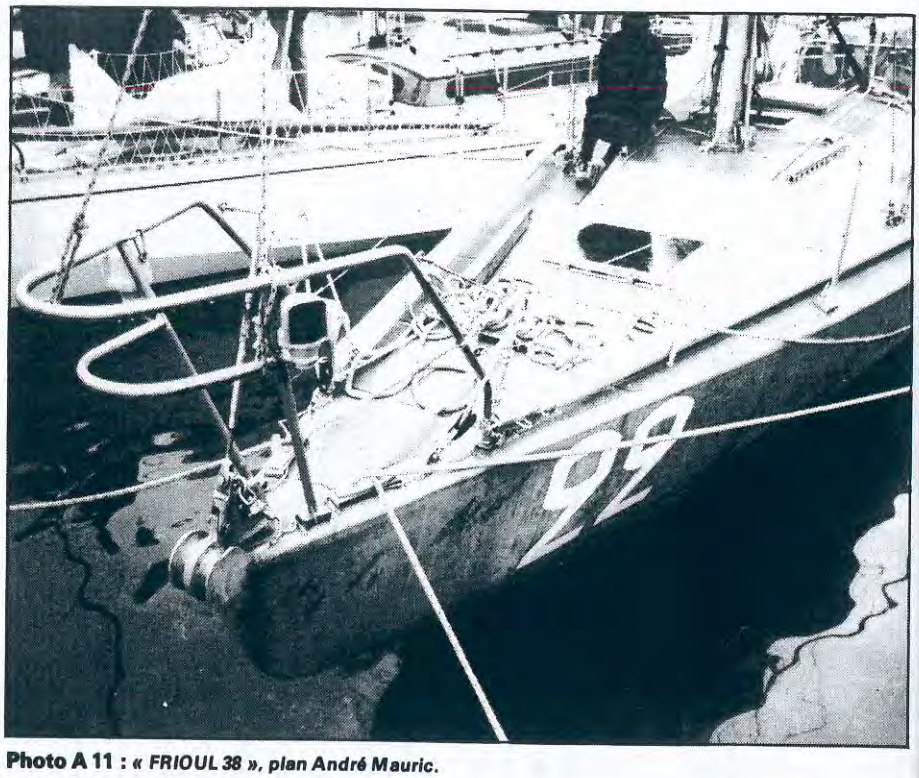


Photo A 11 : *« FRIOUL 38 », plan André Mauric.*

Ces alliages seront en général, sans durcissement structural (sans trempe, alliages non trempants). En général on travaille avec des alliages au magnésium de la série 5.000. Plus le pourcentage de magnésium est grand plus la vitesse d'écrouissage est grande.

Si le choix de la série 6.000 ou de l'alliage 7.051 est opéré, il faut savoir qu'ils sont des alliages trempants, à durcissement structural, qu'ils peuvent subir des déformations limitées dans leur état d'alliage trempé. Il faudra les travailler dans des conditions de lent recuit ou de trempe fraîche.

On utilise aussi des alliages de type 2002.2117 à maturation naturelle lente.

Rares sont les alliages de fonderie concernés par cette rubrique. Citons les alliages au silicium : A.S7GO,3 ou A.S13 ; au cuivre : A.U5GT ; au magnésium A.G3T ; au zinc A.Z5G. Ils sont capables de consentir des déformations pourvu qu'elles soient limitées.

STRUCTURES

Les structures acier sont célèbres pour leurs qualités. L'aluminium dans ses alliages convenant à cet usage arrive à concurrencer l'acier avec un gain de poids de l'ordre de 40 %. Le gain de poids à section égale est de 65 % mais pour parvenir à des caractéristiques mécaniques égales il convient d'accroître la section d'un renfort de près de 50 % des dimensions d'une section acier. Le gain de poids baisse alors pour revenir à 40 % environ.

Les alliages aux meilleures caractéristiques mécaniques, du type corroyé, sont les familles 7.000 et 2.000, dites à *« haute résistance »*.

On utilise fréquemment les séries 5.000 (5.083, 5.086, 5.056 ou 5.754), les séries 6.000 (6.060, 6.005 A, 6.082) pour les profilés. Pour les tôles, on opte pour l'alliage 6.081.

Des alliages en cuivre peuvent être retenus (A.U5GT) ou au silicium (A.S7GO,3 ou 6, A.S10G) ou au zinc (A.Z5G).

Mais le soudage ou d'autres opérations chauffant ou écrouissant le métal peuvent modifier notoirement les caractéristiques de ces alliages et il faut tenir plus en compte les caractéristiques qui restent après ces opérations de transformation (pliage, chaudronnage pour l'écroui, soudage pour le recuit) que des caractéristiques de base.

De même, la liaison avec d'autres alliages peut laisser craindre des couples électrolytiques. On pourra souvent préférer de choisir, pour les profilés, un alliage moins performant mais de même nuance que les tôles d'un bordé de bateau à un autre alliage plus résistant mais qui impliquerait un couple.

Le choix des alliages ressort bien d'un compromis ! Ce compromis peut s'exprimer comme étant une balance entre les caractéristiques optimales et les nécessités des conditions d'application et de l'environnement. Par exemple, une balance entre les caractéristiques optimales pour une structure de bateau, le fait que la structure doit être liée par soudage à un bordé qui ne serait pas forcément du même alliage si on s'en tenait aux caractéristiques optimales des tôles, et le fait que le tout va être utilisé en atmosphère marine qui constitue un excellent électrolyte !

Ajoutons-y les fatigues du travail répétitif de la structure, les déformations cycliques qui peuvent devenir permanentes et écrouissent, voire recristallisent le métal, et vous verrez l'ampleur de la difficulté du choix.

SOUDAGE

Toutes les séries non trempantes, corroyées, sont soudables.

Les alliages de fonderie se soudent s'ils sont au silicium (A.S2GT jusqu'à A.S13) ou au magnésium (A.G4, A.G5, etc.) ou au zinc (A.Z5G). Les alliages trempants, corroyés, peuvent aussi être soudés dans la série 6.000 ou les nuances 7.020 et 7.051. Mais il y aura alors nécessité de peindre les pièces soudées pour les protéger.

Il faut savoir que les alliages à plus de 3 % de magnésium de la série 5.000 (par exemple 5.056, 5.083, 5.086) ne peuvent pas être soudo-brasés. De la même façon, le soudo-brasage modifie énormément les caractéristiques de la série 2.000. Il ne faudra donc pas, par négligence, décider de remplacer un soudage par un soudo-brasage.

Tous les alliages corroyés peuvent aussi être soudés par le procédé dit « par résistance ».

RESISTANCE A LA CORROSION

Pour les alliages corroyés, les séries 3.000 (alliages au manganèse : A.M1G par exemple), 5.000 (alliages au magnésium : A.G5M, A.G4MC par exemple) ou 6.000 (alliages au magnésium et silicium : A.GS, A.SGM par exemple) conviennent parfaitement aux utilisations donnant lieu à de hauts risques, de corrosion. Parmi ces risques figure l'atmosphère marine.

La série 2.000 après soudage, chauffe ou pliage, doit être peinte ou même plaquée à l'aluminium pur ou avec des alliages à 2 % de zinc.

Pour les alliages de fonderie, les séries d'alliages au magnésium, au silicium sans cuivre, ainsi que l'A.Z5G au zinc et magnésium conviennent.

ALLIAGES POUR ANODISATION

L'aspect de surface doit être parfait et c'est ce qui va présider au choix des alliages. En effet, à part les alliages au cuivre, toutes les autres séries peuvent être anodisées, avec ou sans imprégnation.

Cinq catégories d'alliages sont spécialement destinées à l'anodisation ou à la décoration selon leur qualité de grain et de régularité de surface :

- **A.I. (Anodisation Industrielle) :** Pour panneaux et constructions industrielles. Séries 1.000, 3.000, 5.000.
- **A.I.S. (Anodisation Industrielle Spéciale) :** A grain fin pour la décoration, les parements d'appareils ménagers, automobiles. Séries 1.000, 3.000, 5.000.
- **A.I.G. (Anodisation Industrielle et Gravure) :** Destinée à la gravure profonde par procédé chimique sur des panneaux décoratifs. Séries 1.000 et 5.000.
- **A.I.L. (Anodisation Industrielle de Luxe) :** A très beau grain et grande régularité de surface en dimensions importantes. Séries A4 avec placage A9, A5 avec placage A7 et série 1.000.
- **O.A.A. (Anodisation pour l'architecture) :** Panneaux décoratifs pour décoration, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur. Alliages A.M1 avec placage A.G06 ou 5.005 au magnésium.

Pour les alliages simplement destinés à la décoration sans anodisation, on choisira parmi les alliages 1.050 A ; 1.070 A ; 5.005 ou 5.754. Ce sont des tôles ou des bandes d'aspect brillant, avec trois stades de brillance :

- Brillant industriel, plus fin que le « millfinish » de qualité courante mais peu élaboré.
- Fini brillant : brillant plus élaboré mais sur formats réduits.
- Grand brillant : brillant élaboré avec très grande régularité de surface.

On en fait des enjoliveurs, garde-boue, etc.

Il existe aussi des bandes ou tôles à surface dite « *modifiée* » avec deux qualités de production :

- Lapidé : Lignage régulier plus ou moins profond.
- Satiné : Surface mate acceptant le collage ou l'impression. Ces qualités peuvent être vernies ou anodisées. On choisit des alliages des séries 1.000 ou 5.000.

Parmi les alliages destinés à la fonderie et devant être anodisés, on choisit des séries au magnésium (A.G3T, A.G4Z) ou au silicium (A.S2GT). L'alliage au silicium possède une couleur gris soutenu intéressante en décoration. Citons aussi l'alliage au zinc A.Z5G.

Les alliages de fonderie au magnésium et au silicium qui conviennent à la fois à l'anodisation et aux emplois nécessitant une bonne résistance à la corrosion, se rencontrent dans la production d'accastillage moulé : taquets, pièces de pont ou de mât, capots de pont, etc.

Les alliages corroyés au magnésium et silicium sont utilisés en fabrication de tubes d'espars, chandeliers, balcons, hampes, etc.

USINAGE

Les alliages d'aluminium sont très abrasifs pour l'outillage d'usinage surtout dans leurs nuances de fonderie, moins en alliages corroyés.

Les alliages de fonderie au silicium sont les plus abrasifs.

Ils sont dits hypereutectiques.

Au contraire, les alliages de fonderie les moins abrasifs sont les alliages au cuivre ou au magnésium. On choisit des alliages des séries 2.000, 2.030, décolletage ou 2.011, ainsi que l'A.G10.

AUTRES EMPLOIS

Cryogénie :

Alliages au magnésium pour fabrication de cuves et réservoirs à froid. A.G4MC.

Température élevée :

Dans les alliages corroyés, on opte pour les alliages au cuivre avec addition de fer, manganèse, nickel. Dans les alliages de fonderie, on opte pour des alliages au magnésium, silicium ou au cuivre ainsi que l'alliage au manganèse A.M4 dont le point de fusion est voisin de 700° et peut même être utilisé pour fabriquer des brûleurs de réchauds.

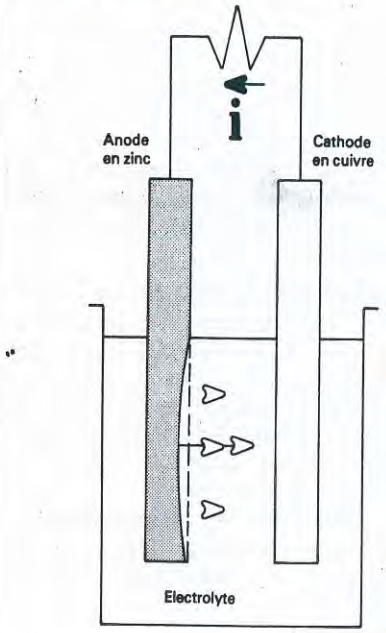
Etanchéité :

La plupart des alliages corroyés possèdent une faible porosité. Pour les alliages de fonderie, on choisit des séries à teneurs en silicium situées entre 7 % et 13 %, et des alliages au cuivre.

Frottement :

Des alliages à l'étain conviennent à la fabrication de coussinets et pompes à huile dans les moteurs. A.E6UN ou A.E2OU. *(Photo A 11. Croquis A 16).*

Croquis A 16 : ***Couple galvanique***



12

GENERALITES SUR LA MISE EN OEUVRE DES ALLIAGES D'ALUMINIUM

Avant de parler de façon spécifique des aspects du travail des alliages d'aluminium dans la construction de bateaux de plaisance de moins de 25 mètres, voici des généralités utiles à connaître sur les techniques de leur mise en œuvre.

J'ai repoussé à la fin de ce chapitre les deux grands sujets : chaudronnage et soudage, pour leur accorder en toute quiétude l'importance qu'ils méritent. J'ai procédé de la même façon pour l'étude des aciers, ce qui vous permettra de retrouver très facilement les correspondances et les différences de modes de travail de l'un et de l'autre.

FILAGE

Le métal est flué à froid entre un poinçon et une matrice qui ménagent entre eux une section ronde, ovale ou polygonale. Le mouvement d'avancement est issu d'une presse mécanique qui imprime un choc ou une pression. Ce filage est dit « par choc ».

Le métal peut défiler dans le sens inverse de la rotation du poinçon : filage inverse. La longueur de filage est alors limitée à 0,35 m maximum. Les alliages ainsi traités sont le 1050A et le 6080.

Le métal peut aussi défiler dans le même sens que la rotation du poinçon. C'est le « filage direct ». Dans ce cas, il n'y a pas d'autres limites de longueur que la quantité de métal mise en œuvre. Les alliages les plus fréquemment filés sont les 1050A, 5005 et 6080, en parois épaisses ou fines.

FONDERIE

Les alliages d'aluminium sont fondus dans des fours à creuset ou à sole, chauffés au mazout, au gaz, au coke, ou électriquement. On recherche un grain aussi fin que possible et à éviter les gazages et oxydations. La température de fonte est limitée à 750°C.

Voici quelques-uns des principaux types de moulage :

● **Sable :** on utilise en général du sable vert. Ce moulage permet de travailler toutes les formes, toutes les dimensions, la plupart des alliages. Mais il ne permet guère d'effectuer que des séries de quantités limitées.

● **Coquille :** l'aspect extérieur des pièces fondues est plus fin, mieux fini et nécessite ensuite moins d'usinage. Les moules utilisés sont faits en fonte ou en acier demi-dur. « Par gravité », l'alliage s'écoule de lui-même dans les coquilles.

« Par basse pression », les cadences de production sont améliorées, l'écoulement et la répartition du métal étant plus rapides et plus homogènes.

« Sous pression », le métal est injecté dans les coquilles. La pression est de 200 à 1.500 bars. Les coquilles sont faites en acier réfractaire. La cadence de production peut passer, selon les besoins, à plus de cent pièces à l'heure. La précision est du un dixième de millimètre. Mais les pièces ainsi moulées ne peuvent dépasser un poids de 20 kg.

Il existe d'autres méthodes de moulage faisant varier la méthode d'injection du métal ou la matière des moules : Croning, moulage à la cire perdue, moulage au renversé, moulage au plâtre.

Dans l'ensemble, les moules sont fabriqués d'abord en matériau léger, pour essais, sable ou plâtre, à partir d'une empreinte en bois fabriquée par des modélistes. Après mise au point, le fabricant opte pour un type définitif de production en fonction de ses besoins.

Les alliages de fonderie sont nombreux. Nous les avons déjà vus au chapitre indiquant les emplois des alliages principaux.

REPOUSSAGE

De nombreux alliages conviennent à cette méthode de travail, surtout les 1050A, 6080, 1199 à l'état demi ou quart dur, 3003, 5005. A chaud, on repousse aussi les 5754 et 5086. Le repoussage est fait sur un tour, avec une molette, ou à la main. Dans ce cas, la force de l'ouvrier est un facteur important de réussite, mais l'épaisseur traitée ne peut guère être supérieure à 2 mm.

FORGEAGE

Les alliages qui conviennent le mieux à ce travail destiné à la fabrication de pièces corroyées sont les alliages à durcissement structural 2014, 2017, 2024, 2618, 6080, voire A.S12UN et 7075.

La forgeabilité diminue avec le pourcentage de magnésium de l'alliage.

La température de forgeage est capitale et sa fourchette est réduite, ce qui implique une grande attention.

Les alliages 2014, 2017A, 7075 et A.S12UN doivent être travaillés entre 400 et 450°.

L'alliage 2618.A doit être forgé entre 440 et 480°.

L'alliage 6080 doit être forgé entre 480 et 500°.

La plupart des alliages sans durcissement structural se forgent bien en général mais leur température de travail est élevée, 500° voire plus. Dans leur fourchette de forgeage, les alliages d'aluminium sont moins malléables que les aciers dans un rapport de 50 % environ. Le matériel doit être conçu en tenant compte de cela.

EMBOUTISSAGE

L'ensemble des alliages présente de bonnes qualités d'emboutissage soit à l'état de trempe fraîche, trempé-mûri ou le plus souvent à l'état de recuit qui les adoucit.

Les rayons de matriçage doivent être très grands, de 6 à 12 fois l'épaisseur du métal, c'est-à-dire beaucoup plus que l'acier.

Plusieurs techniques existent, telles que l'emboutissage par retournement, le magnétoformage, le formage hydraulique, la conification par retournement ou directe, le formage au caoutchouc, le formage par explosion.

Dans l'ensemble, la méthode est d'amener une tôle à épouser la forme d'une matrice réalisée dans un matériau résistant caoutchouc, bois, fonte, acier. Une méthode d'emboutissage est le pressage. Une matrice mâle laisse entre elle et la matrice femelle la place de la tôle avec des dépouilles de démoulage. Les deux matrices sont pressées l'une contre l'autre par procédé mécanique ou hydraulique. Il est évident que l'emboutissage ne permet guère de travailler de très grandes pièces puisque la force à exercer est proportionnelle à la surface. Des presses de plusieurs milliers de tonnes sont parfois nécessaires. Le coût d'investissement limite ces méthodes à des séries importantes qui n'ont aucun rapport avec la construction nautique de plaisance. On ne

connaît guère que le *Pen Duick 600* ainsi réalisé, pour le chantier *Le Guen et Hémidy*.

USINAGE

Les outils de coupe peuvent être en acier rapide si la teneur en silicium est égale ou inférieure à 13 %. Mais plus généralement, ils seront en acier au carbure de tungstène. Les vitesses de coupe vont de 200 tours/minute (A.S 13) à 1.000 tours/minute pour l'aluminium et les alliages doux. La dépense d'énergie est de 150 à 250 WH par décimètre cube de métal usiné. Si bien que les machines doivent être rapides et puissantes bien que l'aluminium nécessite une puissance de coupe inférieure à celle d'usinage de l'acier, la vitesse étant beaucoup plus grande.

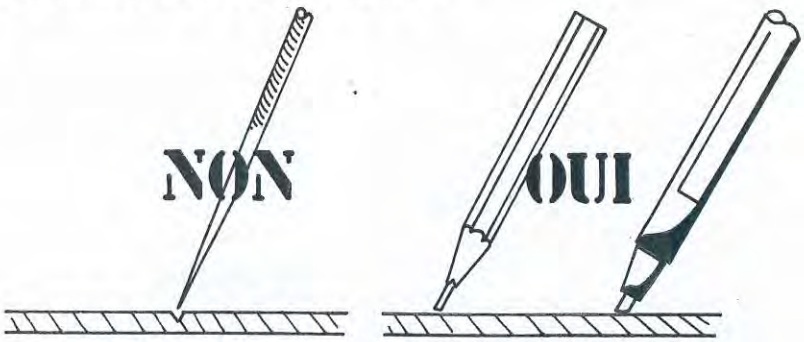
La pente d'affûtage varie de 15° pour les alliages durs à 30° pour les alliages les plus doux et l'aluminium pur.

Forets et tarauds sont spéciaux. Le taraudage par refoulement convient parfaitement. L'affûtage est fini sur une meule à grain très fin et doit être de grande qualité. Les outils au carbure doivent être affûtés sur des meules au diamant. Ces opérations se font sous une lubrification abondante. Pour le décolletage, on choisit des alliages au plomb (2030), au bismuth (2011) ou au cadmium. La pente d'affûtage est réduite, voire nulle.

TRAITEMENTS THERMIQUES

Nous les avons déjà décrits, mais il n'est pas inutile d'y revenir rapidement dans la mesure où certaines opérations correspondent à des traitements thermiques... qui n'oseraient pas dire leur nom ! Le soudage, par exemple ! Connaître leur effet est déterminant pour la qualitié du travail du chaudronnier.

Croquis A 18 : ***La pointe à tracer crée une amorce de rupture.***



Les caractéristiques mécaniques des alliages sans durcissement structural « *non trempants* », sont améliorées par écrouissage. Cette opération résulte d'un travail à froid. **Les transformations du lingot en demi-produits sont des écrouissages** : laminage, étirage.

Provoquent aussi l'écrouissage les opérations de construction telles que : cintrage, roulage, martelage, emboutissage, mise en forme d'une tôle ou d'un profilé par tout moyen à froid, pliage. Ceci concerne les alliages des séries 1000, 3000, 5000. Pour adoucir le métal après un écrouissage provoqué par l'une de ces opérations, on peut être amené à lui faire un recuit de restauration, ou un simple recuit.

Recuits et écrouissages peuvent s'alterner lors d'une mise en forme. Le travail à chaud est possible également.

Les alliages à durcissement structural ont des qualités mécaniques intéressantes. Pour les mettre en forme, on peut procéder à une série de recuits lents et de trempes. Après le travail, on ramènera le métal à ses caractéristiques mécaniques optimales par une mise en solution, puis trempe et enfin revenu.

Les recuits peuvent être faits au four à air ou au four à bain de sels en dessous de 570° à cause du risque d'oxydation. Cette méthode ne s'emploie pas pour les alliages au magnésium.

Le recuit classique de recristallisation se fait entre 300 et 450°. On ne recuit le métal que s'il est devenu trop dur suite à l'écrouissage. La montée en température doit être aussi rapide que possible.

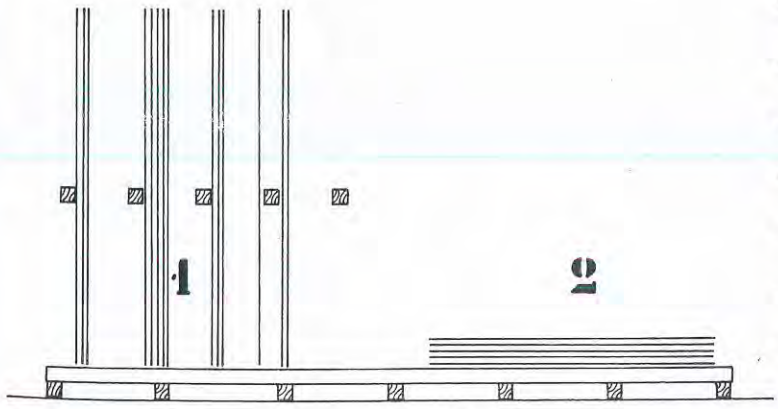
Le recuit le plus fréquent en construction navale est la chauffe à la flamme du chalumeau air-gaz. Le gaz peut être le gaz de ville, butane, propane, acétylène. On utilise aussi le chalumeau oxyacétylénique en excès d'acétylène, flamme dite « *déréglée* » et en tenant le chalumeau à bonne distance de la tôle, comme le montre le dessin du recuit avec un chalumeau oxyacétylénique.

Il existe une méthode assez simple de contrôle de la température de recuit. On passe un peu de suif sur la tôle, du côté opposé à celui par lequel on va faire le recuit. Le suif se colore en jaune clair à 250° ; en brun clair à 300° ; en marron à 350° ; en noir à 400°.

Pour les alliages à durcissement structural dits « trempants », séries 6000, 2000, 7000, on a recours à la mise en solution, suivie de trempe puis de maturation ou revenu.

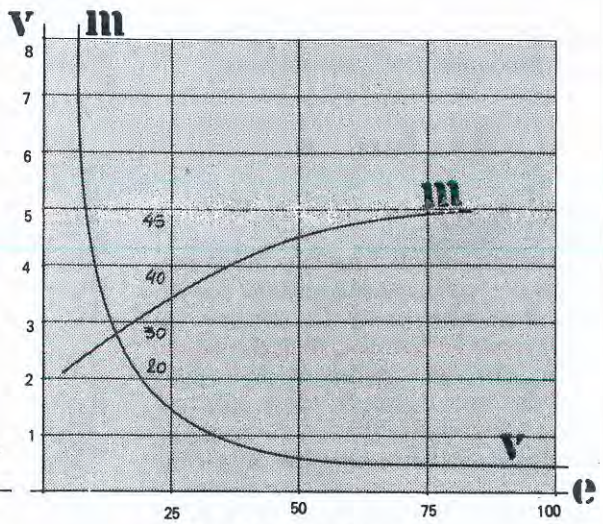
● La mise en solution est une opération très rigoureuse dont la température doit être contrôlée à 5° près. Elle ne doit durer que quelques secondes pour les tôles de 3 ou 4 mm d'épaisseur. Elle crée des con-

Croquis A 17 :



1. Stockage des tôles épaisses : e ⩾ 8 mm
2. Stockage des tôles minces : e ⩽ 8 mm, une feuille de papier, carton ou plastique sépare chaque tôle des autres.

Croquis A 19 : ***Découpe « au plasma ».***



V : Vitesse de coupe en m/mn
M : Mélange argon-hydrogène en litres/mn
E : Epaisseur de tôle en mm.

traintes internes qui amènent des déformations et même des ruptures du métal (fissures). On tient le métal à température par l'aspersion d'eau bouillante.

La trempe ne redurcit pas le métal de façon immédiate, comme c'est le cas pour l'acier. La réaction dure quelques heures à plusieurs jours pendant lesquels le métal reste malléable. On en profite pour effectuer les opérations de mise en forme.

Le durcissement lent à température ambiante est la maturation. A température élevée, c'est le revenu. On cite 8 heures à 175° pour un alliage A.SG. Une basse température ralentit le durcissement de la maturation.

Cette trempe dite « trempe fraîche » permet au métal de reprendre de lui-même ses caractéristiques d'origine. Le recuit, lui, doit être suivi de trempes pour redonner au métal ses caractéristiques optimales.

L'A.G5, chauffé entre 75 et 200° perd en grande partie sa résistance à la corrosion. Pour la lui redonner, il faut effectuer un recuit à 240° pendant 24 heures. Ce recuit le désensibilise. Il est dit d'inhibition. C'est important pour une mèche de gouvernail en A.G5 à laquelle les tôles de safran auraient été soudées. Sinon, on choisira de fabriquer la mèche en A.G3, ou A.G4.

LE TRAVAIL

Stockage des tôles

Les tôles minces, jusqu'à 8 mm, doivent être stockées à plat sur des palettes et jamais directement posées sur le sol. Elles doivent être tenues à l'abri de l'humidité et des projections d'eau ou de produits chimiques. Les tôles livrées avec film plastique protecteur sont stockées avec ce film qu'on n'enlève qu'au moment du travail de la tôle.

● Des dessins vous montrent le stockage de tôles minces ou de tôles épaisses.

TRAÇAGE

Pour des tôles de 3 à 6 mm, mieux vaut éviter de tracer à l'aide de pointes d'acier. Le sillon laissé sur la tôle, outre le fait qu'il favorise l'attaque de la corrosion, peut constituer une amorce de rupture comme vous montre le dessin qui concerne ce sujet. Si la mise en forme se fait avec une génératrice parallèle à ce trait, surtout ! On préfèrera un tracé au crayon dur (mine 5H) ou au feutre. Il va de soi que si une découpe se fait sur un trait, ce trait peut être laissé par une pointe d'acier sans aucune nuisance ! Les tôles épaisses ne craignent pas l'usage de la pointe d'acier, à partir de 10 mm. Pensez cependant que l'usage d'outils d'acier sur des tôles d'alu peut laisser des traces qui vont rouiller et nuire à l'aspect du travail ! J'y reviendrai souvent !

DÉCOUPE

La découpe de l'aluminium (c'est le nom générique que nous allons souvent admettre pour qualifier les alliages d'aluminium lorsqu'il n'y a pas de risque de confusion entre « *aluminium pur* » et« *alliage d'aluminium* ») ne pose pas d'autre problème que l'abrasion des machines.

On peut utiliser les disques à tronçonner (ils vont s'encrasser assez vite), les guillotines, cisailles à main, scies, scies sauteuses puissantes avec lames pour travail de métaux non ferreux, scie à main et, bien sûr, la « *grignoteuse* ».

Un appui doit être appliqué sous la tôle près de la découpe pour éviter de la déformer. Si la tôle, ou la pièce, est prise entre les mâchoires d'un étau ou d'un presse-tôle, les griffes doivent être protégées d'un métal mou, de fibres ou de bois dur pour ne pas marquer l'alu.

Dentures de scie ruban

Une scie proche de la scie à bois convient, mais avec une denture particulière pour évacuer et fractionner les copeaux ; dents alternées ou avoyées.

$$E = \frac{D \text{ du volant} \times \text{épaisseur}}{1000}$$

Largeur :

10 mm pour chantourner.

30 mm pour sciage droit ou sur tôles épaisses.

Pas = 2,5 à 8 mm. Il doit y avoir deux dents en action sur l'épaisseur de la tôle sciée.

Vitesse de coupe : 200 à 1.500 mètres par minute ; lubrifier avec du suif ou une huile.

Ce tableau donne les vitesses de coupe pour divers alliages :

Alliage	Vitesse en mètres/minute	
	Lame d'acier rapide	Lame au carbure
Aluminium pur et alliages doux sans silicium	800 à 1.000	Plus de 1.000
Alliages durs sans silicium	600 à 800	1.000
Alliages à 0 à 4 % de silicium	400 à 600	600 à 800
Alliages à teneur en silicium entre 4 et 13 %	200 à 400	400 à 600
Alliages à forte teneur en silicium	Pas de sciage	100 à 400

Scie circulaire

Le travail à la scie circulaire, sur l'alu, se rapproche du fraisage.

La vitesse de rotation va de 100 à 150 tours/minute. L'avance variant de 0,05 à 0,5 millimètre par dent. On gagne souvent à augmenter la vitesse de rotation et à réduire l'avance.

Scie-fraise

Cet outil est intéressant pour le travail de l'aluminium : coupes droites, avance à vitesse rapide. Il permet de couper des tôles de 20 mm d'épaisseur.

Scie sauteuse

Elle permet en général la découpe de tôles jusqu'à 6 à 8 mm, avec découpes droites ou chantournées. Attention à ne pas trop forcer l'avance, sous peine de voir la lame voler à travers l'atelier !

Oxycoupage

L'oxycoupage convient mal à la découpe de l'aluminium, tout en n'étant pas impossible à employer. La présence de poudre de fer, ou de poudre mélangée de fer et d'aluminium, dans la flamme, laisse sur les bords de la découpe un dépôt moussant de fer. Il faut éliminer ce dépôt par un meulage soigneux avant de pouvoir utiliser la pièce découpée, et notamment la souder.

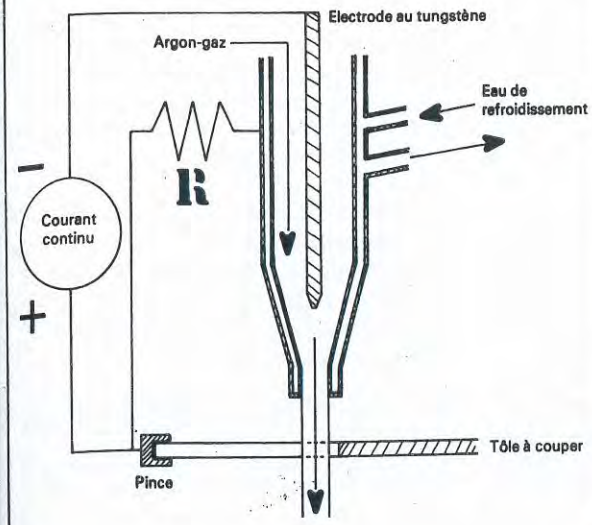
Découpe au plasma

Au contraire de l'oxycoupage, la découpe au plasma convient bien à l'aluminium en tôles épaisses ou en paquet de tôles.

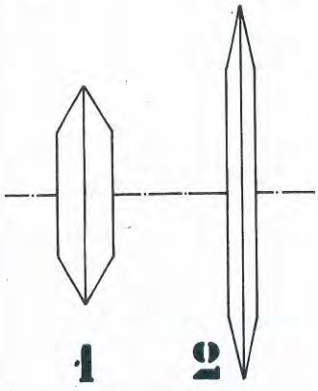
Un arc est alimenté en courant continu et polarité directe, avec une tension à vide élevée côté source de courant électrique.

L'arc jaillit dans l'anneau que forme la torche = plasma. Dans cet arc, on envoie un mélange gazeux d'argon et d'hydrogène en proportion de 80 % + 20 % en découpe manuelle ou 65 % et 35 % en découpe automatique. Dans cet arc, le mélange argon hydrogène s'ionise à l'état plasma. Cet état provisoire libère son énergie au sortir de la torche. Il s'y produit une chaleur intense dans et sur le métal à découper. Le métal en fusion est

Croquis A 20 : *Découpe à l'arc sous argon, dit plasma.*

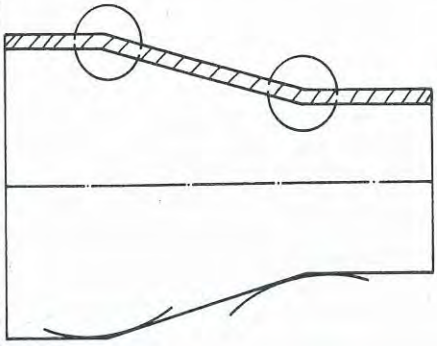


Croquis A 21 *Molettes de coupe-tubes.*

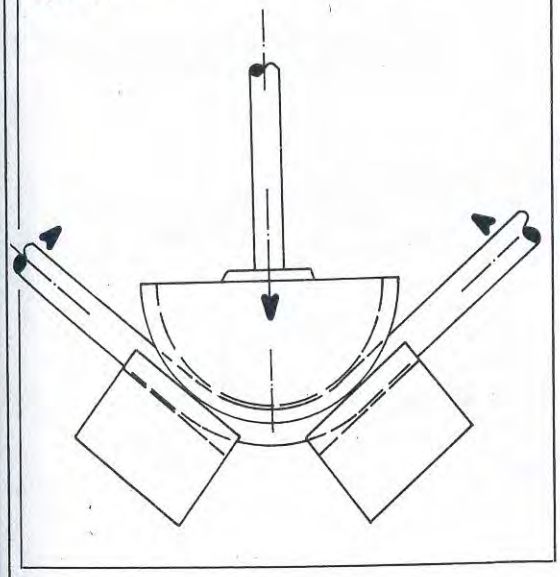


1. Molette large pour tube en acier
2. Molette fine pour tubes en aluminium.

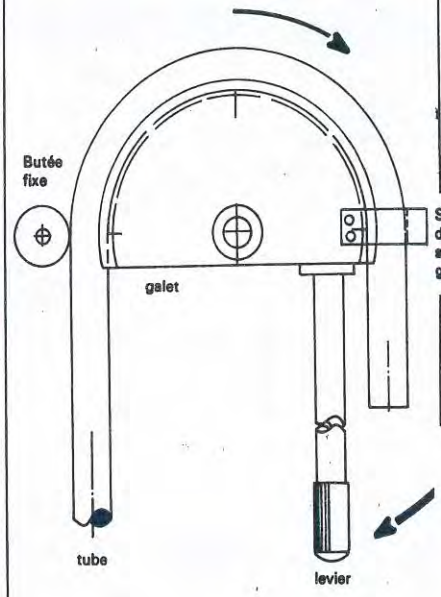
Croquis A 22 : *Les changements de diamètre d'un rétreint se font par des arrondis et non à vif.*



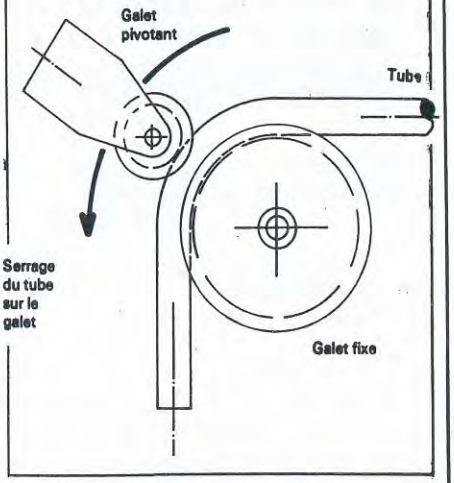
Croquis A 23 : *Cintrage en flexion sur appuis.*



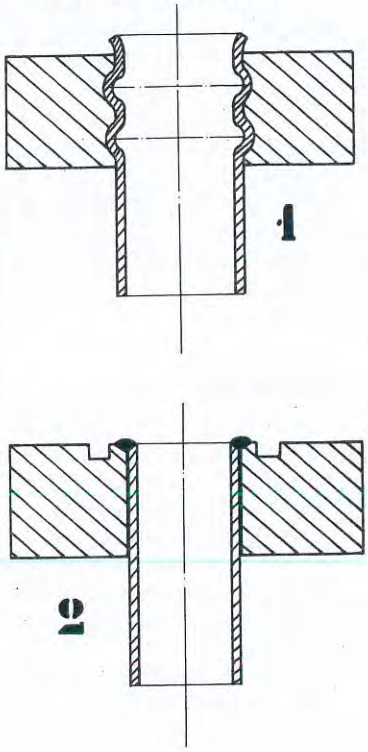
Croquis A 24 : *Cintreuse à galet central.*



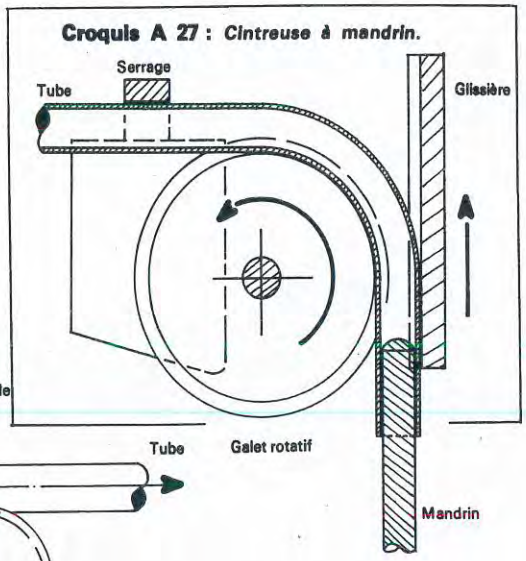
Croquis A 25 : *Cintreuse à galet pivotant.*

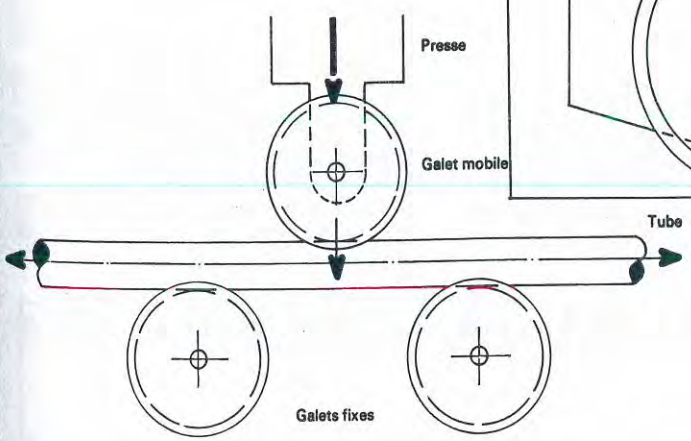


Croquis A 29 : *Dudgeonnages*
1. A gorges
2. Assuré par une soudure.



Croquis A 27 : *Cintreuse à mandrin.*





Croquis A 26 : *Cintreuse à trois galets*

repoussé par l'éjection du plasma et présente une découpe très nette, avec chanfrein possible. Par ailleurs, il n'y a pas de déformation de la tôle et la coupe est parfaite pour l'aluminium pur et les alliages sans durcissement structural. Pour les alliages à durcissement structural, il faut meuler les criques peu profondes qui se forment en surface de la coupe. Les alliages au cuivre et au zinc voient leur pouvoir de résistance à la corrosion diminuer fortement comme c'est le cas avec toute forme de soudure de ces alliages.

Voyez les dessins du principe de coupe au plasma, et de la courbe de consommation d'argon et d'hydrogène en fonction de la vitesse de coupe.

Pour choisir la méthode de coupe en fonction de l'épaisseur de la tôle, consultez ce tableau conseil qui vaut pour les petites séries de tôles à découper ou la coupe à l'unité :

Epaisseur 1 mm	1 à 6	6 à 20	20 et plus
Cisailles	Cisailles	Scie ruban	Scie ruban
Grignoteuse	Scie à ruban	Scie fraise	Détournage
Griffe de zingueur	Scie fraise	Détournage	Arc au plasma
	Scie sauteuse	Arc au plasma	

LES TUBES

Stockage

Tubes, profilés, barres, se rangent de la même façon tenant compte de leur section. Les tubes et profilés de petite section doivent être rangés sur des porteurs, horizontalement. Ces porteurs, tasseaux, équerres, support divers, doivent être en bois et suffisamment rapprochés pour éviter aux profilés de se déformer par leur poids entre deux appuis. Prévoyez un espacement maximum de 1,50 à 2 m.

Les profilés de forte section se stockent verticalement entre des équerres qui les maintiennent et les rangent par type de profil. Ils sont isolés du sol et posés sur des palettes. L'idéal est de les tenir sous hangar à l'abri de la pluie. Ne pas ranger dehors des méplats posés les uns sur les autres.

Découpe

On peut couper les tubes et profils à la scie à métaux avec lame pour métaux non ferreux. Cette scie peut être à main, scie ruban ou scie circulaire.

On peut aussi utiliser un coupe-tube à molette. La molette est beaucoup plus étroite que celle qu'on utilise pour des tubes d'acier et son biseau de coupe beaucoup plus fin.

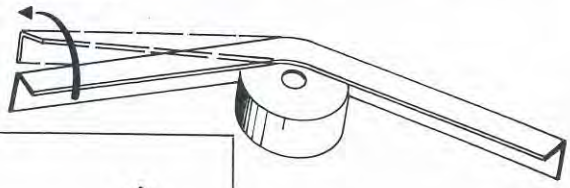
L'arc à plasma peut aussi être utilisé pour couper des profilés et tubes en série ainsi que des disques à tronçonner.

Rétreint

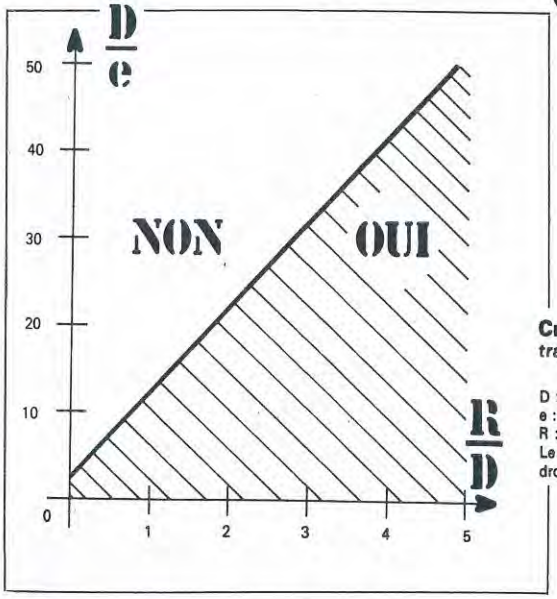
Comme pour les tôles, le rétreint d'un tube peut être manuel. Il existe aussi des machines à rétreindre. L'important étant de ne jamais raccorder le rétreint au reste du profil par un angle mais par une courbe d'aussi grand rayon que possible. Ce que vous montre le dessin du rétreint d'un tube. Pour un tube non utilisé en tant que mât, on effectuera en cours d'opération des recuits et trempes fraîches pour amener le métal à la malléabilité souhaitée puis le redurcir.

De même dans le cas de l'évasement d'un tube, le métal doit être radouci. Les bords doivent être parfaitement affranchis. On évase le col d'un tube avec une broche frappée en la roulant autour de l'intérieur du col, et par mandrinage.

On graisse la zone du tube à rétreindre ou évaser pour éviter de marquer le métal. Les opérations sont donc d'affranchir les bords, recuire le métal, le graisser, le rétreindre ou l'évaser avec un raccordement arrondi sur la partie droite du tube.



Croquis A 30 : *Cintrage d'un L à la main, en le levant et le faisant déverser vers l'extérieur.*



Croquis A 28 : *Diagramme de cintrage des tubes*

D : diamètre des tubes
e : épaisseur de la paroi
R : rayon de cintrage
Le cintrage n'est possible qu'en dessous de la droite.

Cintrage

Qu'il soit utilisé sur le pont en main courante, rambarde ou balcon, dans le bateau en main courante, épontille, un tube n'est en général pas cintré avec écrasement du creux de l'arrondi. Il existe plusieurs techniques de cintrage des tubes.

● **Flexion entre appui** : le tube est en appui sur deux pièces tournantes, on enfonce sa partie centrale avec un vérin hydraulique dont la tête présente le diamètre intérieur de l'arrondi désiré. Les deux appuis rotatifs sont analogues aux blocs accompagnateurs des méthodes suivantes. Voyez-en le dessin.

● **Cintreuses à galets : il en existe plusieurs modèles :**

● Avec un galet central, un appui fixe et un levier qui fait tourner le galet central et entraîne le tube qui épouse le diamètre du galet. Voyez-en le dessin.

● A galet central et petit galet mobile. Dans ce cas, le tube est fixé tangent au galet central fixe. C'est un petit galet qui enroule le tube autour du galet central comme le montre le dessin. C'est un appareil à deux galets.

● A trois galets. Le galet central se déplace entre les deux autres qui sont fixes et cintre le tube à la façon dont une rouleuse à trois cylindres roule une tôle ; voyez le dessin de cet appareil.

Ces cintreuses à galets n'entraînent en général pas des tubes de plus de 50 mm de diamètre en moyenne.

Rayons de cintrage des tubes d'A.G4MC à froid, creux

Diamètre extérieur divisé par l'épaisseur (D : e)	5	10	15	20	25	30
Tubes en A.G4MC	1,5 à 2 D	2,5 à 3 D	3,5 à 4 D	5 à 6 D	7 à 8 D	10 à 12 D



Photo A 12 : *Cintrage d'un profilé, barrot de pont, à l'aide d'une machine Fokker-Eckold qui n'étire pas le métal et donc ne l'amincit pas, ce que fait une simple cintreuse ! (Photo Huisman).*

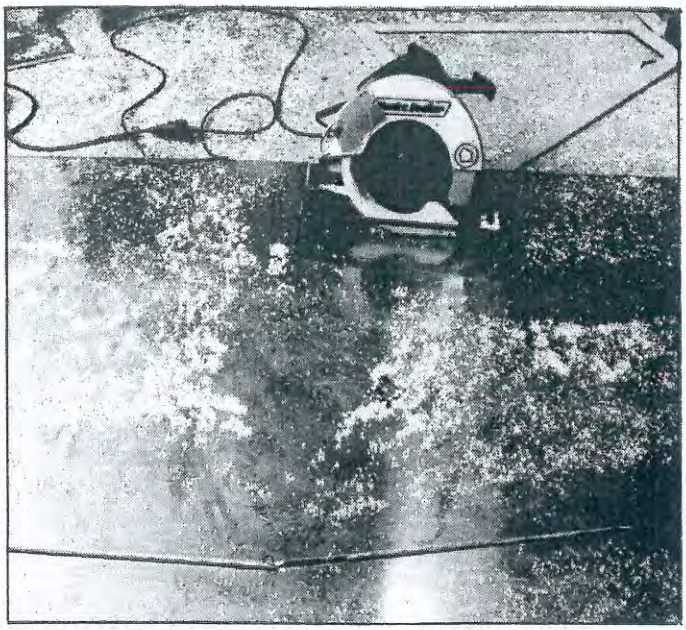


Photo A 13 : *Découpage des tôles, à la scie circulaire, au chantier META.*

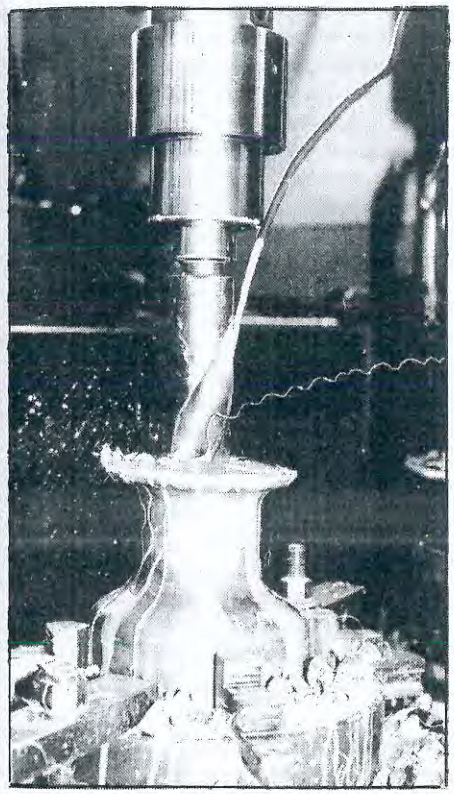


Photo A 14 : *Usinage de l'aluminium. Notez la lubrification par arrosage d'huile (photo Barbarossa).*

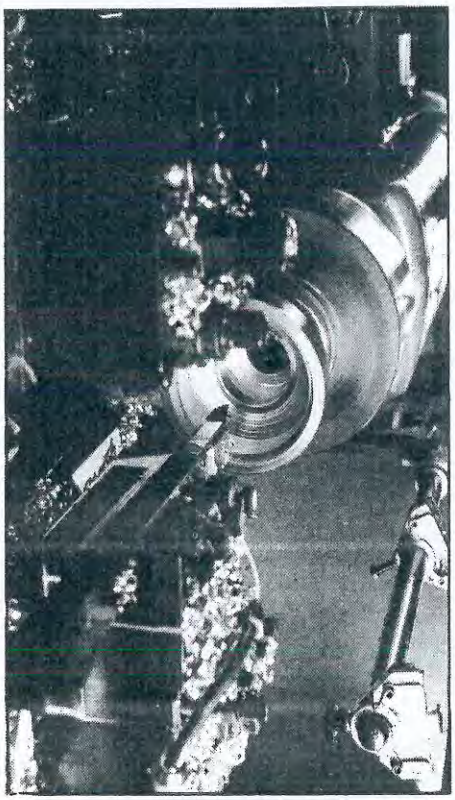


Photo A 15 : *Travail au tour de l'aluminium : poupée de winch (photo Barbarossa).*

Ces machines cintrent les tubes à creux, c'est-à-dire sans remplissage de l'intérieur du tube, et à froid.

Cintrage à mandrin :

Un mandrin avancé dans le tube évite l'écrasement du tube cintré par roulement autour d'un galet. La tête du mandrin peut être ronde, en chapelet. L'intérieur du tube doit être bien graissé. Lorsqu'il s'agit d'un tube soudé, il faut choisir un mandrin à saignée horizontale.

Cintrage à remplissage :

Toujours afin d'éviter l'écrasement, même partiel, du tube, on le remplit d'un élément souple suivant le cintrage. Ainsi, on opte pour un ressort (bien graissé). Le ressort est sorti du tube par rotation pour que son diamètre diminue. Le tube et le ressort doivent être très bien lubrifiés. On choisit aussi de remplir le tube de sable, le profil étant alors cintré à froid ou à chaud à 400°. Le tube est ensuite retrempé.

Il existe tout un ensemble de tubes préformés à l'état de « *coudes* » de diamètres et de cintrages variés. On raccorde alors les tubes aux deux extrémités du coude. On note des rayons de cintrage de 1,5 à 8 fois le rapport diamètre sur épaisseur, avec des diamètres de 1/2 à 16 pouces.

Dudgeonnage

Cette technique est peu utilisée en construction navale. Elle consiste à solidariser un tube d'une tôle épaisse. En général, l'opération est une expansion à une ou plusieurs gorges. Cela s'appelle le dudgeonnage ou mandrinage. L'outil utilisé étant le dudgeon (ou mandrin). On sertit par expansion le tube dans la tôle épaisse (14 à plus de 20 mm). Les gorges retiennent l'assemblage. Une soudure circulaire peut compléter le sertissage et en achever l'étanchéité.

On a recours souvent à des alliages A.SG ou A.GS recuits à l'état T4.

On peut de la même façon dudgeonner un tube en alu dans une plaque en acier avec une isolation par zingage ou autre. En marine, on préfère à cette technique le soudage du tube dans une tôle fine avec rapport, en un second temps, d'une doublante. Nous le verrons pour les tubes de vidange de cockpit.

CINTRAGE DES PROFILES U, L, T

Le stockage et la découpe des profilés habituels en U, L, T suivent les prescriptions des tubes. Par contre, du fait des particularités de leur section, des méthodes spécifiques leur sont appliquées pour le cintrage. Ces techniques seront plus largement exposées lors de la description.

du travail de l'acier. Elles sont identiques à la différence près de la tendreté de surface de l'aluminium qui implique une grande netteté d'aspect des galets. Les plis doivent être rétreints au fur et à mesure de leur formation dans la largeur des profils. Lors du cintrage d'un L, il convient de travailler avec l'aile horizontale sur le dessus (autrement dit, le L est inversé). Pendant le cintrage, on vrille le L vers le haut et en faisant déverser son aile horizontale vers l'extérieur..

U et T sont rarement cintrés à des petits rayons. Rien à voir avec le cintrage pour fabriquer un barrot de pont ! Les L servent parfois de base ronde à une bulle. On aura aussi vite fait de découper une collerette ronde dans une tôle et de lui rapporter une aile verticale en plat roulé, ce qui ne pose aucun autre problème que le soudage. On utilise aussi des machines à allonger.

Tubes rectangulaires

Pour éviter leur écrasement à peu près inévitable à creux, on les remplit au droit du cintrage de bandes d'inox de 0,2 à 0,5 mm d'épaisseur. Le tout soigneusement graissé. L'ensemble se cintre à chaud (tiède) ou à froid, comme une barre pleine.

Chantournage

On peut avoir à cintrer un profilé sur chant (sur son épaisseur). Par exemple, un rail de barre d'écoute de grand-voile. On le cintrera par toute une série de chauffes faites au chalumeau. Il existe aussi des machines à cintrer, à rétreindre ou à allonger mais des profilés en X peuvent ne pas se prêter à ces machines. Un chantier ayant à traiter souvent le même profil complexe gagnera à se fabriquer un outillage de complément adapté sur une des machines citées plus haut.

Le procédé par chauffes successives locales permet de cintrer un profil complexe sans diminuer l'épaisseur de ses bords externes.

On peut aussi s'équiper de griffes et cintrer le profil immobilisé sur un ou plusieurs appuis. La griffe ne saisira pas directement le profil d'alu, surtout s'il est anodisé ! On interpose des cales de bois. Ces griffes ont en général une simple forme de F. *(Photos A 12, A 13, A 14, A 15. Croquis A 17 à A 30).*

13
CHAUDRONNAGE

Une part capitale de la construction des bateaux est « *le bordage* », c'est-à-dire le tôlage tendu sur la structure, pour fabriquer le pont, la quille, la coque bien sûr, mais aussi l'aileron de gouvernail et le gouvernail.

Ces opérations sont « *le chaudronnage* » en terme global, le chaudronnage étant en fait une suite de travaux complémentaires qui ont plusieurs effets sur le métal :

- Des découpages dimensionnels pour amener les tôles aux bonnes cotes.
- La mise en forme des tôles par le chaudronnage proprement dit, ou leur vrillage selon le type de formes à border.
- La structure cristalline du métal est « *travaillée* » par le chaudronnage, qui est un écrouissage.
- Le soudage recuit le métal écroui, mais pas sur toute sa surface ni toute son épaisseur et d'une façon non uniforme.
- Le métal doit être détendu, recuit, pour homogénéiser ses caractéristiques mécaniques et éliminer les contraintes internes.

Le chaudronnage doit mener à bien l'ensemble de ces phases, sauf le soudage. Son travail est donc capital et un bon chaudronnier est un des points forts des bons chantiers navals, avec de bons soudeurs et... des gestionnaires avisés !

Le chaudronnage s'applique aux produits laminés (tôles, bandes) aux produits filés (barres rondes ou polygonales L, U, T, tubes carrés ou rectangulaires) et aux produits filés (barres rondes ou polygonales, plats, tubes ronds ou carrés, fils). Tous ces produits sont normalisés par des normes AFNOR de 1943 à 1970.

ALLIAGES ET ALUMINIUMS CHAUDRONNABLES

Aluminium sans durcissement structural

A5, non allié, livrable recuit ou écroui. Caractéristiques mécaniques élevées, mise en œuvre aisée, stable et de bonne résistance chimique.

Alliages sans durcissement structural

- Les duralinox A.M1, A.MG, A.M1G à l'état recuit ou écroui. Qualités mécaniques plus élevées que l'aluminium A.5. L'alliage A.M1G sert surtout à fabriquer des tubes électrosoudés.
- Les duralinox A.G06, A.G1, A.G4MC et A.G5 ont d'excellentes qualités mécaniques qui augmentent avec leur teneur en magnésium. Pour sa résistance à la corrosion marine les tôles d'A.G4MC sont les plus utilisées en construction navale. Maintenant, on se dirige vers l'utilisation d'A.G4,50 MC (ou A.G41/2 MC ou A.G4,5 MC). L'A.G5 fournit des éléments de structure et des barres rondes. Tous sont bien soudables.

Alliages à durcissement structural

Ce durcissement implique souvent qu'ils soient mis en œuvre à l'état recuit. Il faudra ensuite les tremper pour redonner au métal ses caractéristiques d'origine, si bien que ces qualités d'alliages sont réservées à des pièces de petites dimensions pouvant entrer dans des bains de trempe.

A.GS pour le filage et l'anodisation utilisé en « *menuiserie* » d'aluminium, décoratif. Il est soudable.

A.SG, A.SGM à l'état T6 (R = 34 hbars) à l'état trempé, pour leurs caractéristiques mécaniques élevées et leur bonne soudabilité.

L'A.SGM à l'état T6 est utilisé dans la fabrication de mâts.

Comme on le verra plus tard, l'anodisation intervenant comme un recuit de surface, on peint maintenant les mâts destinés à la compétition pour leur conserver leur « *nervosité* ».

A.Z5G très soudable et qui récupère après le soudage ses caractéristiques mécaniques sans autre traitement.

A.U2G qui se soude par résistance, est facile à mettre en formes longtemps après sa trempe et est très utilisé, pour ces deux raisons, en construction automobile.

Par contre, 14A.U4G et l'A.U4G1 sont difficilement soudables : à l'arc et sous protection totale par gaz inerte, seulement. De même les A.U2GN, A.U4SG, A.Z5GU et A.Z8GU.

Diverses opérations de chaudronnage sont codées, fabrications de réservoirs, récipients sous pression. Il existe peu d'ouvrages de cette qualité pour la construction navale. Les publications de l'*Aluminium français* seront les aides les plus utiles pour ceux qui auront besoin de détails très approfondis.

L'alliage à chaudronner sera choisi en fonction de l'utilisation future de la pièce à construire. On observera pour le choix de l'alliage :

- ses caractéristiques mécaniques.
- son comportement dans l'atmosphère où la pièce sera utilisée (gaz, produit chimique, atmosphère saline, etc).
- **les aptitudes de mise en œuvre :** usinage, soudage, pliage, roulage, rivetage, boulonnage, collage, etc.
- **les possibilités de traitement de surface :** polissage, peinture, anodisation.

Les états de livraison et les formats de présentation. Si bien que l'alliage sera choisi en fonction de compromis.

Identification, vérification

On peut rechercher à vérifier l'exactitude de la composition chimique d'une livraison. Pour cela, on procède à une rapide identification

par un de ces réactifs : solution de soude caustique (diluée à 20 %), acide nitrique concentré, acide chlorhydrique (à 30 %), solution de sulfate de cadmium.

On dégraisse une petite surface de l'alliage au trichloréthylène, on la polit au grain de 400, on l'essuie. Le tableau suivant montre comment réagissent les alliages et aluminiums sous l'action de ces réactifs. L'identification se fait en 5 minutes d'application du réactif.

Alliage	Soude caustique Na OH	Acide chlorhydrique après la soude	Acide nitrique après la soude	Sulfate de cadmium seul
Aluminium pur	tache blanche			pas d'attaque ou très peu
Alliage au cuivre	tache noire	la tache noire reste	la tache noire se dissout	pas ou peu d'attaque
Alliage au zinc	tache noire	la tache noire se dissout		dépôt gris foncé
Alliage au silicium	tache brune	la tache brune reste	la tache brune reste	pas ou peu d'attaque
Alliage au magnésium	tache blanche			dépôt gris clair
Alliage au zinc et cuivre	tache noire	la tache noire s'atténue	la tache noire disparaît	dépôt gris
Alliage au silicium et cuivre	tache noire	la tache noire reste	la tache noire s'atténue	pas ou peu d'attaque

Ces essais se font les uns après les autres sans mélanger les réactifs. On essuie la surface après chaque essai de 3 à 5 minutes.

FORMES DÉVELOPPABLES

Roulage

● Le roulage cylindrique d'une tôle s'obtient en faisant défiler le métal entre trois rouleaux cylindriques dont on règle l'écartement pour les deux rouleaux inférieurs et la hauteur pour le rouleau supérieur ainsi que vous le montrent les dessins concernant cette technique.

Particularité due à la tendreté de surface des aluminiums et alliages, il faut que les rouleaux présentent un aspect parfait sans irrégularités qui marqueraient la tôle. Dans le cas où les rouleaux ne sont plus de toute première jeunesse, il convient de rouler la tôle entre deux feuilles de protection. Ces feuilles, d'aluminium recuit (tendre), de 0,3 à 0,5 mm d'épaisseur peuvent servir à un grand nombre de roulages. On peut rouler des tôles dans le sens de leur laminage (longueur) ou en sens perpendiculaire. On trouve fréquemment des rouleurs à cylindres de 3 à 4 m de large.

● Les nécessités du formage peuvent amener à utiliser une rouleuse à olives. Dans ce cas, les tôles sont en général passées dans le sens de leur longueur. Un choix d'olives complémentaires concaves et convexes ou à contre courbes les amène à des formes de rayon variable. Là encore, l'aspect de surface des olives doit être parfait.

Il s'agit toujours là de formes développables, la génératrice étant le profil des rouleaux et des olives, encore que les *« formeuses à olives »* permettent des formes non développables.

Formes développables encore avec le chapitre suivant.

Le pliage

L'aluminium et ses alliages ne posent guère de problèmes de pliage sauf dans leurs qualités les plus dures. La plieuse doit présenter des bords travaillant en parfait état si on veut éviter de marquer le métal, ce qui n'est pas toujours important, mais peut l'être dans le cas de pliages apparents : bords de roof ou de siège de cockpit. Des marques trop apparentes obligeraient le constructeur à enduire des zones qui pourraient éventuellement ne pas l'être. On peut, pour éviter toute trace de pliage, plier la tôle avec sa protection en plastique, une feuille de caoutchouc ou des bandes adhésives collées au droit du pli et ôtées ensuite. Ces précautions permettent notamment de plier, sans les abîmer, des tôles pré-peintes.

Il est conseillé dans la mesure où c'est possible, de plier les tôles perpendiculairement au laminage et non parallèlement au sens de laminage comme le montrent les dessins illustrant le pliage. Ceci afin d'éviter les fissures.

On conseille aussi, au départ d'un pli se faisant dans un angle de tôle, de percer un trou d'un diamètre égal à l'épaisseur de la tôle mais pas inférieur à 3 mm, toujours dans le but d'éviter des fissures.

Dans le même but, on amincit le bord de la tôle au droit du pliage, du côté extérieur du pliage. En effet, des criques et fissures peuvent apparaître en début ou en fin de pli alors que toute la partie centrale est saine. Ce bord externe étant aminci (ou affranchi) les risques sont atténués. Pour des éléments de structure en tôle pliée, on conviendra que cela a quelque importance. Cet aminci peut être vivement fait à la meule à disques, portative, lors de l'ébarbage des côtés de la pièce découpée.

Plus le rayon de pliage est petit et proche du minimum possible en fonction de la nature de l'alliage, de son état de malléabilité et de son épaisseur, plus ces risques de criques et fissures sont grands. Et donc grande est l'importance des précautions !

Voyez sur ce tableau le rayon minimum de pliage des tôles ou bandes à froid. Ce rayon intérieur est donné en fonction de l'épaisseur et de la nature de quelques alliages qu'on rencontrera en construction navale.

Épaisseur	3 mm	5 mm	6 à 10 mm
A.M et A.G1.0	0	0	0 à 1e
H12	0	0 à 1e	0,5 à 1,5e
H14	0 à 1e	0,5 à 1,5e	1 à 2e
H16	1 à 2e	1,5 à 3e	2 à 4e
H18	2 à 4e	3 à 5e	4 à 6e
A.G3.0	0	0,5 à 1e	0,5 à 1e
H32	0 à 2e	0 à 1e	0,5 à 3e
H34	0,5 à 1,5e	1 à 2e	2 à 4e
H36	1,5 à 3e	2 à 4e	3 à 5e
H36	2 à 4e	4 à 6e	4 à 7e
A.G4MC.0	0,5 à 1e	0,5 à 1,5e	1 à 2e
H34	1,5 à 2,5e	2 à 3e	2 à 4e
H36	2 à 3,5e	3 à 5e	4 à 6e
A.SG.0	0	0 à 1e	0 à 1,5e
T.4	1 à 2e	1,5 à 3e	2 à 5e
T.6	2 à 5e	3 à 6e	4 à 8e

Les fourchettes indiquent bien que beaucoup de paramètres entrent en ligne de compte et le mieux sera de s'en tenir au rayon de pliage le plus grand. Pour la bonne compréhension de ces indications, je vous rappelle que :

● 0 est l'état recuit et recristallisé d'un alliage.

● H est l'état écroui à froid.

● T est l'état écroui par trempe (état de *« cuisson »*).

On note les subdivisions 1, 2, 3 du premier chiffre de la désignation de l'alliage qui correspondent au détail de l'écrouissage et les subdivisions 1 à 9 du second chiffre qui donnent les nuances de dureté, du moins dur 1 à l'extra-dur 9. On s'est arrêté à 8 (4/4 dur) dans ce tableau.

Par exemple : A.G4MC H 34 est un alliage A.G4MC au magnésium (G), manganèse (M) et chrome (C) écroui à froid (H) avec écrouissage suivi de stabilisation (le 3 de 34) dans sa dureté *« demi-dure »* (le 4 de 34). Vous retrouverez le sens de ces indications dans l'étude des Désignations Conventionnelles des modes d'obtention et des états de livraison des produits corroyés : chapitre des Etats Métallurgiques.

FORMES NON DEVELOPPABLES

Les précédentes mises en œuvre de l'aluminium et de ses alliages étaient mécaniques et s'appliquaient à des formes développables : roulage, pliage.

La mise en formes non développables se fait soit manuellement, soit mécaniquement et suit les mêmes règles de traitements thermiques que celles que nous venions de voir en début de cette étude du chaudronnage.



Photo A 19 : *Hiloire, dossier, banc de cockpit en tôle d'aluminium pliée, chantier META.*

Outillage à main

Le travail de la main, formage par martelage, ne s'applique guère qu'à des épaisseurs inférieures à 6 mm.

La principale difficulté étant de ne pas abîmer la surface des tôles, on travaille plutôt avec des outils doux : maillets en fibres, caoutchouc dur, buis ou autre bois dur. Les marteaux en fer ou en acier sont déconseillés. Par ailleurs, le fer risque de laisser, outre les traces de coups, des traces ferreuses qui peuvent rouiller. On utilisera alors des outils en inox ou parfaitement polis et nets, à bords arrondis, comme le montrent les dessins d'outillage à main.

De même, on ne forme pas des tôles sur une enclume mais sur un sac de cuir, une *« salière » en bois* ou une *« salière »* contenant du sable de rivière légèrement humide. Surtout pas de sable de mer à cause des traces de sel.

Dans le cas d'outils en acier ou en fer, la surface de contact avec l'alu doit être polie, arrondie, dépourvue de traces de rouille et d'aspérités.

Les mâchoires des étaux doivent être garnies de protections en fibres, plomb, bois dur, caoutchouc dur, laiton ou aluminium recuit (doux).

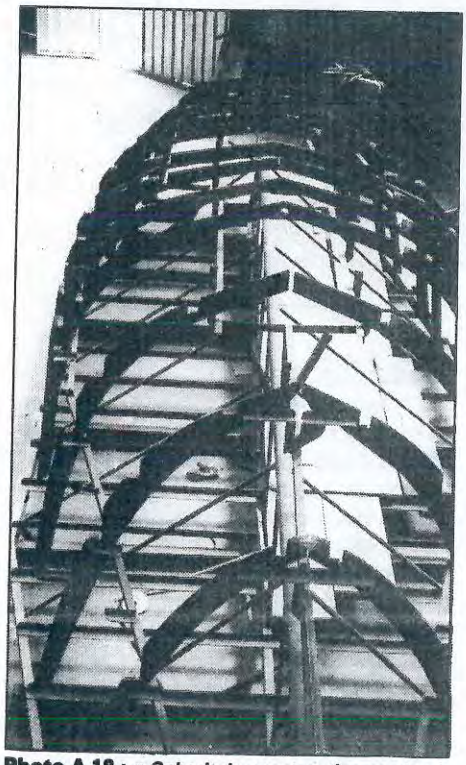


Photo A 18 : *« Gabarit de construction en aluminium ou acier en semi-formes ».*

Outillage mécanique

Les machines qui permettent de donner à des tôles ou bandes d'alu des formes non développables sont du type *« martinet », « conformeuse », « machines à olives », « machines à rétreindre », « Pullmax universelles »* et autres machines universelles servant de grignoteuses, machines à former, découper, persienner.

Les olives permettent de donner des formes non développables à des tôles par un jeu d'olives de diamètres et courbes variés. On les rencontre peu dans l'industrie mais encore fréquemment en construction navale où les séries sont de petit nombre et où la construction se fait quasiment (...ou réellement) à l'unité !

Forme creuse

A la différence de l'acier, une forme creuse de révolution (ronde) se fait en partant de l'extérieur du flan et en allant vers le centre. En acier, on part du centre.

Photo A 16 : *Après ce « bouchonnage » de l'alu, il faudra sabler avant de peindre (photo Carénal).*

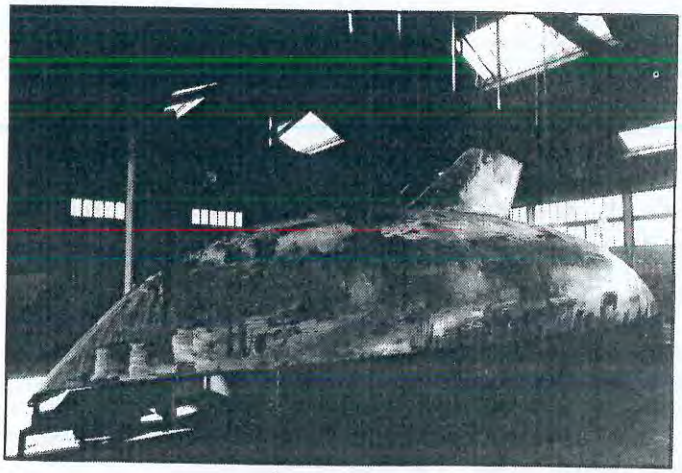
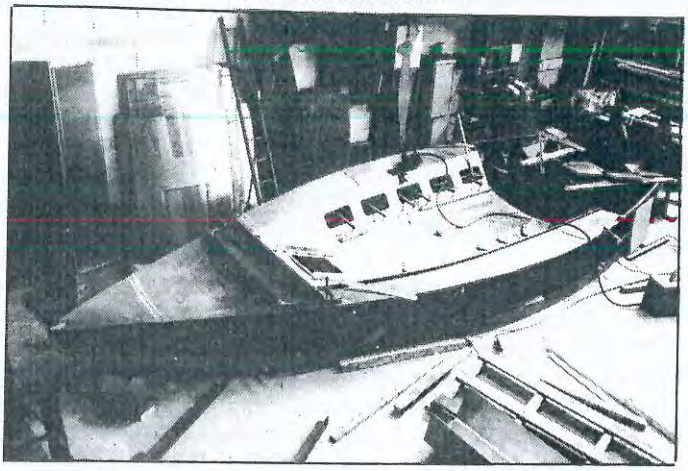


Photo A 17 : *Moule de pont au chantier Brument.*



Pour l'aluminium, cette technique permet d'éviter la formation de plis qui deviendraient des amorces de rupture s'ils étaient « *couchés* » par un martelage inadéquat. Le martelage au maillet doit bien écraser ces plis sans les coucher.

Rétreint

Le rétreint s'opère avec un maillet bien arrondi dont on utilise l'angle. On procède par passes successives d'un écartement voisinant 10 fois l'épaisseur de la tôle formée. L'opération pouvant écrouir et durcir le métal, on peut avoir besoin de le recuire en cours d'exécution. Il s'agit là de rétreint de petite dimension et non de rétreint de mât qui est une technique différente. Les formeuses à olives permettent aussi d'effectuer des rétreints.

Col évasé

Comme pour la plupart des opérations de formage, que ce soit pliage ou formage d'un col (voyez-en le dessin) il faut d'abord parfaitement « *affranchir* » les bords de la pièce, c'est-à-dire ôter toute crique et toute irrégularité.

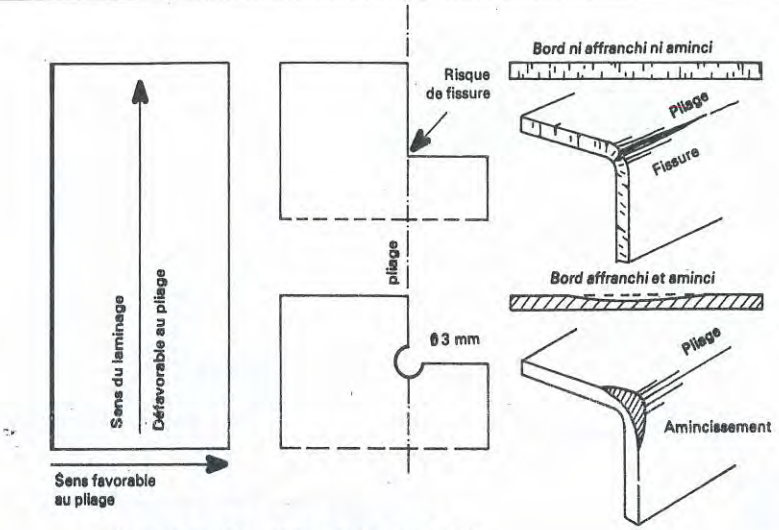
Ces simples défauts du bord du métal peuvent en effet se développer sous forme de fissures. On travaille, ici, avec un marteau très propre et bien arrondi sur une forme dure, ronde, en parfait état.

Bord roulé

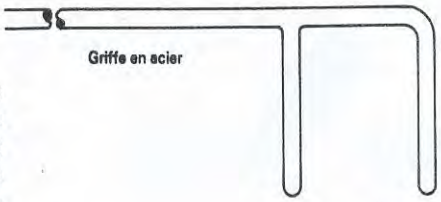
Un bord roulé peut très bien convenir à la finition de haut de dossier de cockpit, arrière de roof, rebord de feuillures de descente, bord de jupe arrière, etc. On rabat le bord, bien « *affranchi* », avec un maillet en buis ou en fibres en enfermant une barre ronde, un fil. Pour terminer de replier la tôle sur le fil, on n'utilise pas de « *marteau à rentre* » pour ne pas marquer le métal, trop tendre. On se sert d'un bordoir en aluminium au cuivre, comme sur le dessin qui décrit cette opération.

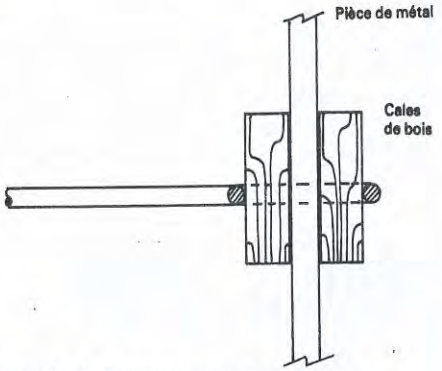
Bord relevé

En plein milieu d'une tôle, on peut avoir à former un bord relevé circulaire. Pour ce faire, on utilise un appareil à boule un peu analogue à un tire-bouchon et que montre le dessin joint. Il existe

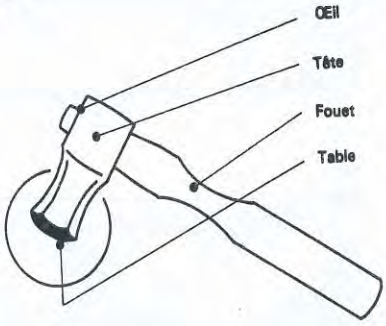


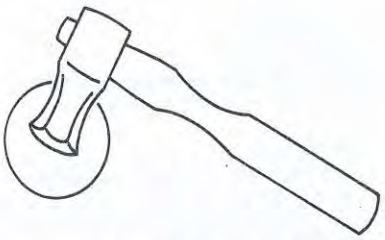
Croquis A 32 : ***« Pliage d'une tôle d'aluminium »***



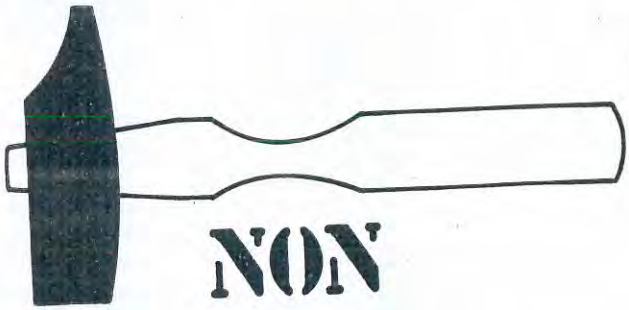


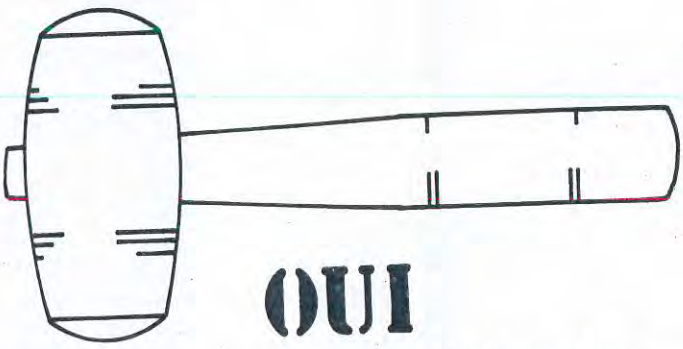
Croquis A 33 : ***Griffe de manipulation des pièces d'aluminium***





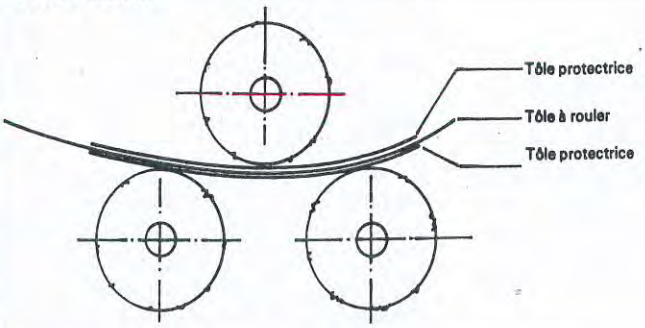
Croquis A 34 : ***La table des marteaux doit être absolument exempte de rouille.***

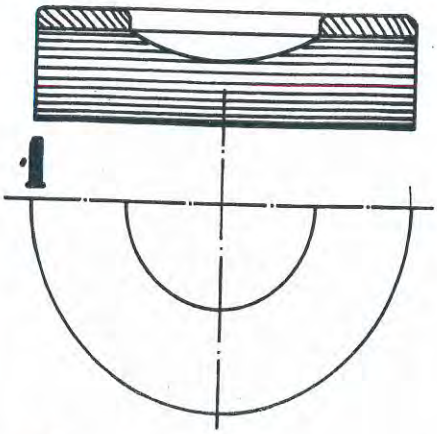


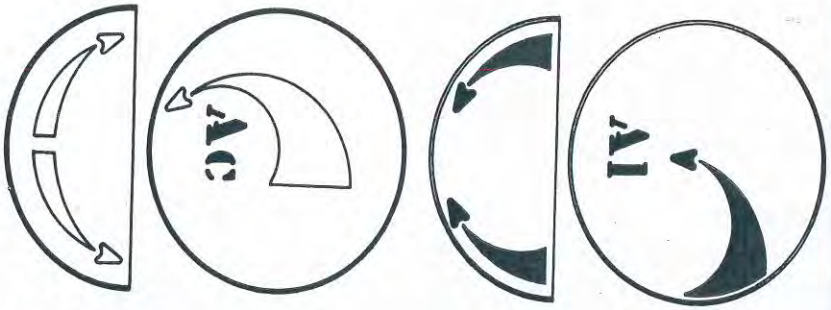


Croquis A 35 : ***Chaudronnage : n'utiliser que des outils tendres, comme le maillet en buis.***

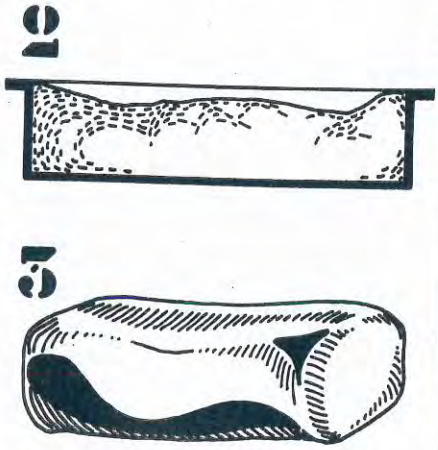
Croquis A 31 : ***Roulage avec des rouleaux de mauvaise qualité.***





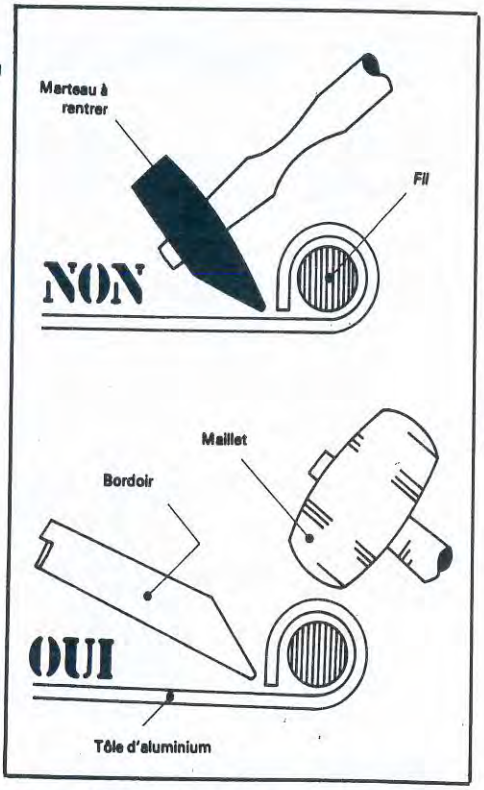


Croquis A 37 :
AL : une forme courbe en aluminium se travaille des bords vers le centre
AC : une forme creuse en acier se travaille du centre vers les bords

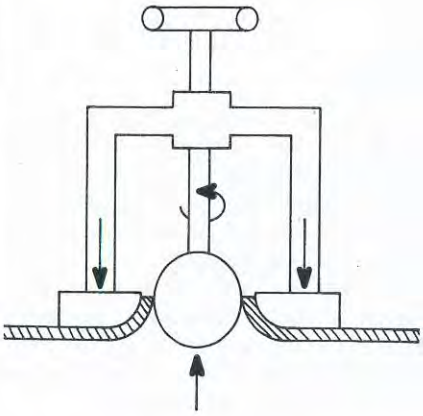


Croquis A 36 :
1 Salière en bois
2 Salière au sable dans un bac métallique
3 Sac de sable en toile ou en cuir

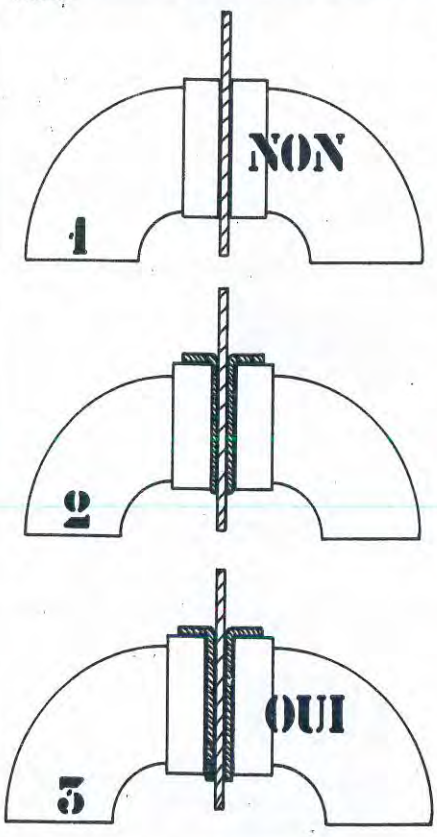
Croquis A 40 :
1 Les mâchoires de l'étau vont abîmer la pièce d'aluminium non protégée.
2 Des protections en plomb ou laiton sont possibles mais peu conseillées.
3 Des protections en aluminium recuit sont l'idéal.



Croquis A 38 : ***Un bord roulé s'exécute au bordoir et non au marteau à rentrer***



Croquis A 39 : ***Exécution d'un bord relevé circulaire en pleine tôle, à la boule***



aussi des machines à border les collets, à roulement à billes. On fait alors tourner l'appareil ou la tôle et les billes s'écartant par la traction faite sur la tige verticale ouvrent l'avant-trou percé. Ces appareils existent en diamètres très variés allant de quelques centimètres à près d'un mètre (à billes). Ils servent aussi à ouvrir un col dans un tube auquel on veut souder ou braser un autre tube.

Chaudes de retrait

Après avoir formé une tôle et l'avoir soudée, on peut constater des déformations. Bien sûr, une bonne technique de construction et un bon soudage permettent de les limiter, tout comme les enduits permettent de les cacher ! Mais la pratique des « *chaudes de retrait* » est nécessaire à tout artisan et tout industriel tant soit peu désireux de présenter un travail correct.

Les déformations faites dans des tôles de moins de 3 mm se rattrapent par un planage au « *marteau de postillon* ». Une bonne astuce consiste à décaper la tôle par une application de soude caustique en solution à 10 %. Ce bain rend la tôle mate. On rince la surface, très abondamment, à l'eau. Les coups de marteau apparaissent alors en brillant sur fond mat, ce qui facilite la visualisation du rattrapage.

A partir de 3 mm, le planage se fait plutôt en chauffant la tôle : ce sont les « *chaudes de retrait* ». Il faut chauffer le plus rapidement possible le métal comme pour toute opération de recuit. En effet, la chaude de retrait est un recuit local qui efface les contraintes internes du métal entre une zone recuite (adoucie) par une soudure et le centre d'une tôle écrouie (durcie) par la mise en forme. La chaude se fait au chalumeau oxyacétylénique. Chauffé, le métal se dilate dans son épaisseur puisqu'il est bridé sur sa périphérie par le reste de la tôle laissée froide. En refroidissant, le métal se contracte mais entraîne avec lui, vers le centre, la surface

qui l'entoure. Pour résorber des déformations, il faut répéter ces chaudes de retrait plusieurs fois jusqu'à ce qu'elles disparaissent ou s'atténuent.

Si l'amateur bien entraîné, et le petit artisan, peuvent rapidement pratiquer des « *chaudes* » sur l'acier, cette technique est autrement plus délicate sur l'alu. Cette raison, avec bien d'autres, tenant aux précautions de travail vues tout au long de ces chapitres, réserve le travail sérieux de constructeur naval de bateaux en « *aluminium* » à des chantiers expérimentés et très bien outillés, avec un personnel qualifié et rigoureux. On répondra qu'ici ou là des bateaux ont été faits par des amateurs, en alu. Certes, mais si l'aspect extérieur était présentable, sait-on ce qu'il en était des contraintes internes du métal ?

Un matériau aussi délicat et capricieux, surtout en épaisseurs inférieures à 4 mm se réserve de fait à la construction professionnelle responsable et sérieuse. Nous le voyons ici encore !

L'aluminium est un métal hautement thermo-conducteur. Entre deux chaudes de retrait, il faut totalement le refroidir pour que ce travail soit efficace et ne se traduise pas par un aspect complètement gondolé. Le martelage et l'arrosage à l'eau tiède ou froide complètent le travail au chalumeau.

Selon l'épaisseur et le travail à faire, on note des consommations d'acétylène voisines de 100 litres par heure et par millimètre d'épaisseur.

Si la surface à résorber est vaste, il faut d'une part la chauffer au chalumeau et passer derrière le jet d'eau, le tout en continu avec un appareil à deux molettes et un espacement réglable entre le chalumeau et le jet d'eau. Ce montage appelé « *chalumeau japonais* »... n'est pas une figure « *spéciale* », mais un appareil efficace.

La technique des chaudes de retrait est très applicable aux alliages sans durcissement structural mais peu recommandée aux alliages à durcissement structural, suivant en cela les autres techniques de recuit et de trempe. Reportez-vous à ces chapitres.

Un planage se faisant sur un cordon de soudure implique de meuler ce cordon pour le désépaissir, que le planage soit fait au marteau ou au maillet, ou bien par chaudes. Ce meulage se fait avec des disques de 50 et 80 ou au rabot électrique.

Avant de marteler un cordon de soudure, il faut en limer les extrémités de départ et de terminaison. En effet, les extrémités de cordons peuvent posséder des irrégularités qui se transformeraient en fissures sous le martelage.

Après avoir martelé un cordon de soudure, convenablement préparé, il peut être jugé utile de le recuire pour l'adoucir, le martelage l'ayant durci.

La suite de l'approche des techniques du chaudronnage de l'aluminium va nous mener à la construction spécifiquement navale avec le choix des alliages pour milieu marin, les échantillonnages, les structures, divers détails de construction et des exemples de réalisation.

Pour le moment, voyons l'important chapitre du soudage. *(Photos A 16, A 17, A 18, A 19. Croquis A 31 à A 41).*

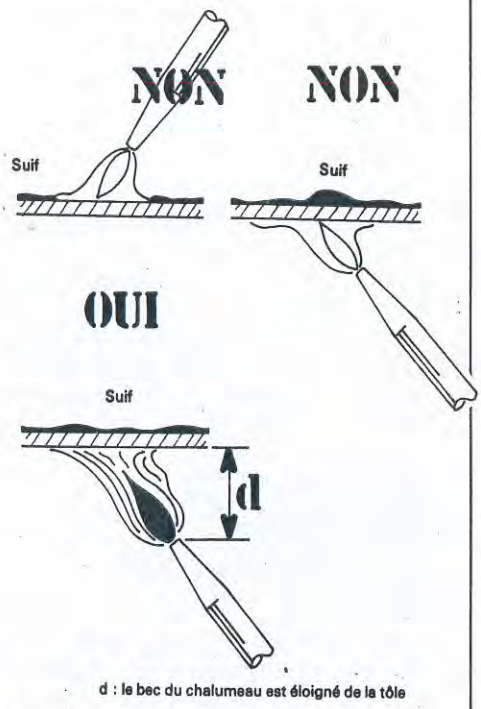
14

ASSEMBLAGES D'ALLIAGES D'ALUMINIUM ENTRE EUX

Se reportant au tableau galvanique, on note la présence, entre autres métaux, du magnésium, du zinc, du cuivre, qui entrent en alliage avec l'aluminium. Il y a des couples électrolytiques entre ces métaux et il est clair que dans certaines circonstances favorables, il y aura des effets de corrosion entre deux alliages de composition différente et même entre deux alliages de la même série mais de teneurs très éloignées. En général, les alliages riches en magnésium seront les plus électronégatifs, puis les alliages pauvres en magnésium, les alliages en zinc, alors que les alliages au cuivre seront en général électropositifs.

Pour les alliages au magnésium, on peut utiliser des baguettes ou des fils de soudure (métal d'apport) un peu plus riches que les tôles à souder. On fera ce choix pour la construction navale.

Il peut arriver que des éléments de structure désirés ne puissent être adaptés parce qu'ils n'existent pas dans les mêmes nuances que les tôles d'une coque de bateau. On voit donc qu'une grande circonspection est de règle. Ce suivi des nuances est en général bien fait dans les chantiers sérieux, mais il faudra faire attention avec des constructions faites



Croquis A 41 : ***Technique du recuit au chalumeau oxyacétylénique***

par de très petites serrureries, navales ou non.

Par ailleurs, certains alliages ne sont pas soudables à l'arc = 2017 A, 7075, etc., ou bien avec leurs anciens symboles : A.U4G et A.Z5GU.

Un grand nombre de normes NF contrôlent le soudage des alliages aluminium, leur préparation, leur mode de soudage. Ce sont les normes NF.A.81-331, 900 ; NF.A.87.010 ; 89.220, 221, 310.

Voyez dans les tableaux ci-après les compatibilités entre quelques alliages d'aluminium et le métal d'apport à choisir pour les souder l'un à l'autre :

ALLIAGES CORROYES								
A.G 0,6 (5005)	5005 5050							
A.G 2,5C	5183	5183						
A.G 3M (5754)	5183	5854	5183					
A.G 4MC (5086)	5183	5183	5183	5086				
A.GS (6963)	4043	4043	4043	5356	4043 5050			
A.SG (6080)	4043	4043 5356	4043 5356	5356	4043 5356	4043 5050		
A.SGM 0,3 (6081)	4043	4043 5356	4043 5356	5356	4043 5356	4043 5356	4043 5356	
A. SGM 0,7 (6082)	4043	4043 5356	4043 5356	5356	4043 5356	4043 5356	4043 5356	4043 5356
Alliages à souder	5005	5052	5754	5086	6963	6080	6081	6082

Dans les cases intermédiaires apparaissent les nuances des baguettes et fils d'apport pour souder les alliages rangés verticalement et horizontalement.

Vous pouvez vous reporter aussi au chapitre sur les soudages hétérogènes qui donnent des méthodes fiables d'assemblages d'alliages entre eux.

COLLAGE

A la fin de ce volume vous trouverez un développement sur le collage des alliages d'aluminium entre eux et sur d'autres métaux ferreux ou non ferreux. Colles entre des alliages d'aluminium ne posent aucun problème particulier. Naturellement, les faces à coller doivent être parfaitement préparées, dépourvues de graisse et d'alumine.

ASSEMBLAGES D'ALLIAGES AVEC DES METAUX FERREUX

Les techniques de soudage vues précédemment sont valables sous réserve de protection des deux métaux dont l'aluminium sera en général l'anode.

Le soudage dépend des possibilités de soudage des alliages d'aluminium et est effectué par explosion, friction, pression, etc.

Il faut surtout veiller à ce que l'acier soit exempt d'oxydation (rouille) et à ce que l'aluminium soit exempt de traces d'alumine. La formation d'un mélange d'alumine et d'oxyde de fer (Al_3Fe), très fragile aux chocs, est à éviter. Il faut donc décaper l'acier et l'aluminium par un procédé mécanique, côté acier, et un flux côté aluminium.

Un assemblage aluminium acier ou aluminium-acier inoxydable, s'il n'a pas à supporter des chocs ou des contraintes importantes, peut se faire directement par brasage ou soudo-brasage. Le métal d'apport est un aluminium ou un alliage d'aluminium et silicium. La flamme est celle d'un chalumeau oxyacétylénique classique. On peut ainsi « *piquer* » un tuyau d'inox sur un réservoir en alu, etc.

Le brasage se fait avec un apport Sn-Zn ; Sn-Pb-Ag ; Cd-Zn, etc.

Le collage est possible et nous en parlons à la fin de ce livre.

ALLIAGES ET METAUX NON FERREUX OU MATERIAUX NON METALLIQUES

La liaison d'aluminium et de cuivre est possible par « soudage » par friction, explosion, frottement, pression à froid, ultra-sons. On peut aussi faire un brasage tendre.

Un soudage direct est impossible, bien sûr, par suite de formation de Al^2Cu sans qualité mécanique.

Les collages sont possibles avec les mêmes remarques que pour les autres assemblages hétérogènes.

Avec des matériaux non métalliques ne provoquant pas de corrosion de l'aluminium, il est possible de boulonner, visser directement. C'est le cas de la fibre de verre, du bois. Il n'est pas du tout inintéressant de penser à de la visserie en aluminium qui, au moins du côté métal, garderait l'homogénéité. Mais le prix plus abordable de la visserie en acier inoxydable la lui fait préférer, moyennant une élémentaire isolation : graisse, peinture, joint d'étanchéité.

On peut aussi coller l'aluminium sur les plastiques et les bois après l'avoir décapé de son alumine. Des éléments peuvent ainsi renforcer des bateaux en bois : varangues, couples, supports de quille, et on fixe ainsi les cadènes sur des bateaux en bois.

On évite l'emploi de ciments et chaux en contact de l'aluminium en atmosphère humide et saline.

ASSEMBLAGES

ASSEMBLAGES HETEROGENES

Lorsqu'on soude une pièce d'un alliage d'aluminium sur une autre pièce du même alliage, avec également un fil ou une baguette identique, on se place dans des conditions de parfaite homogénéité.

Si, déjà, on souhaite souder l'une sur l'autre deux pièces faites d'alliages d'aluminium de la même famille mais de teneurs différentes, par exemple en magnésium pour les alliages qui nous concernent, il se pose un problème de choix du métal d'apport et l'homogénéité n'est plus optimale. Il y a déjà matière à prudence !

Mais pour assembler une pièce d'aluminium à une pièce d'un autre matériau métallique ou non, il faut s'entourer de multiples précautions et réfléchir sur les phénomènes de corrosion électrolytique.

Vous le savez déjà, il existe un bon nombre de méthodes permettant de souder des assemblages hétérogènes. Je vous les ai énumérées dans le chapitre sur le soudage de l'aluminium. Voyons maintenant le principe de la corrosion électrolytique et les précautions à prendre.

L'ELECTROLYSE

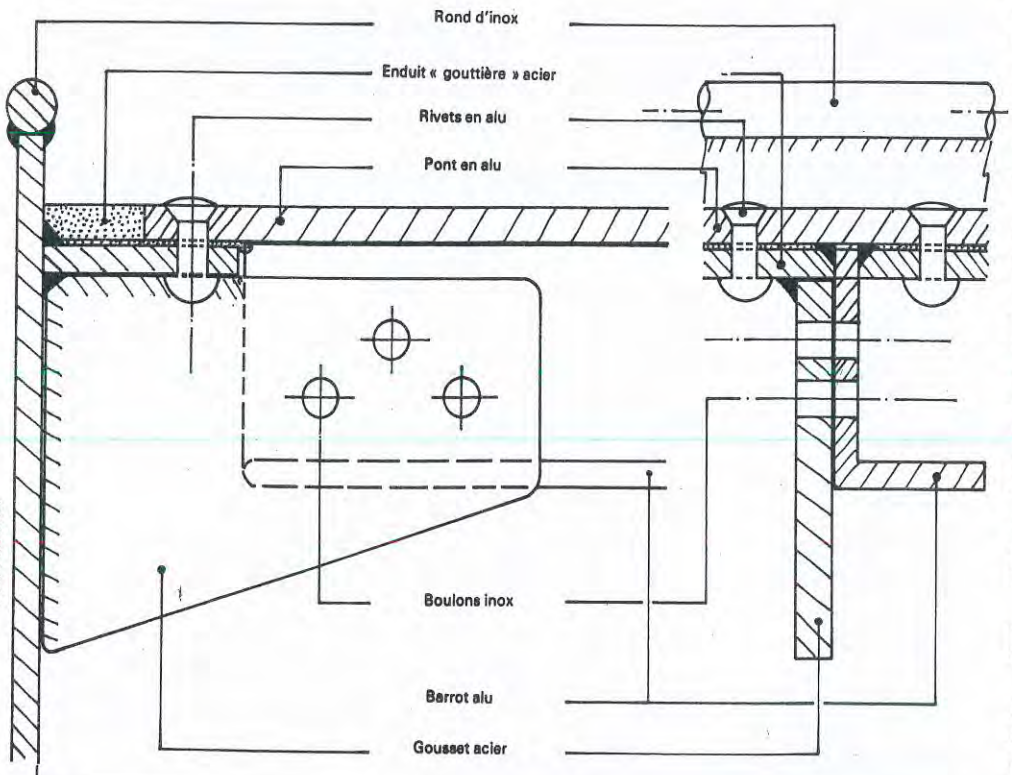
L'électrolyse est l'action électrochimique dite de contact par laquelle un métal perd sa matière au profit d'un autre avec lequel il est en contact. Pour cela, il faut que soient réunies un certain nombre de circonstances :

- Les deux métaux doivent être de potentiels différents.
- Ils doivent être en contact direct ou indirect avec l'intermédiaire d'un fil conducteur.
- Il doit y avoir la présence d'un milieu qui véhicule les ions d'un métal vers l'autre. Ce milieu est l'électrolyte.

L'EXPERIENCE

On immerge deux métaux de potentiel différent, par exemple zinc et cuivre, dans un électrolyte qui est une solution d'acide sulfurique. Il ne se passe rien.

Croquis A 45 : ***Pont en aluminium sur une coque en acier***



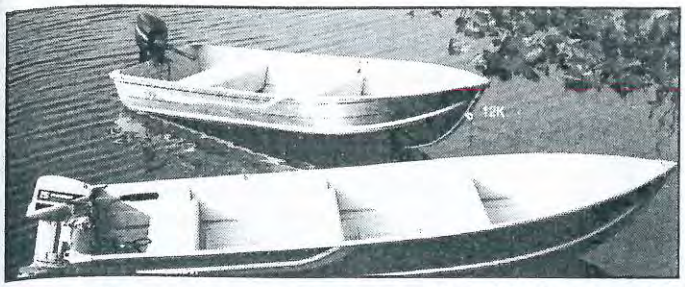


Photo A 20 : *Petites embarcations en aluminium rivé (Photo Rouxel Marine)*

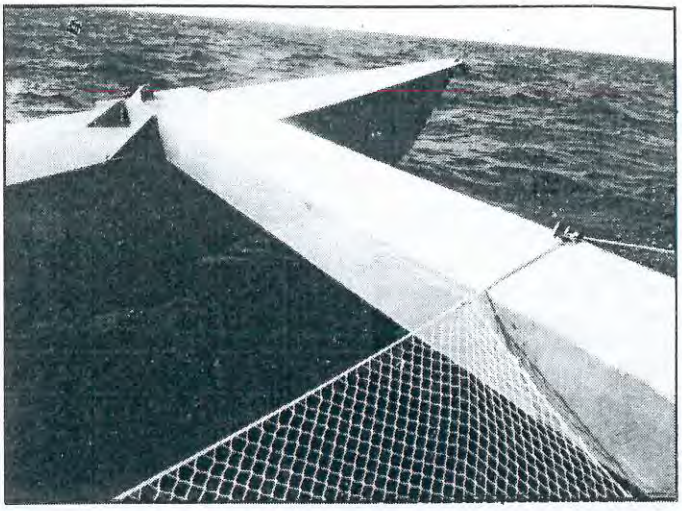
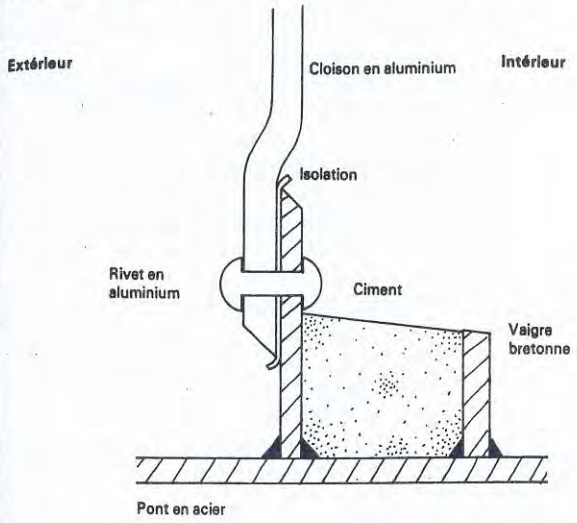
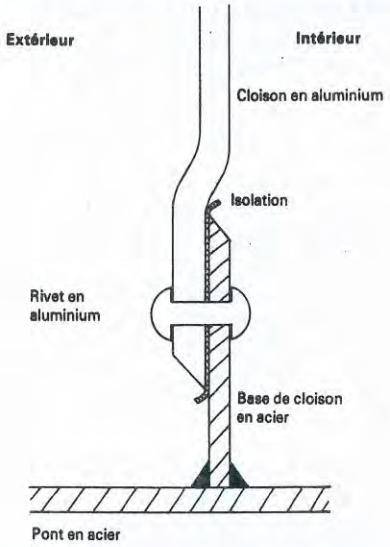


Photo A 22 : *Liaison soudée pour les flotteurs du trimaran « Petit Requin »*

Croquis A 43 : *Cloison en aluminium sur un pont en acier, avec une vaigre bretonne*

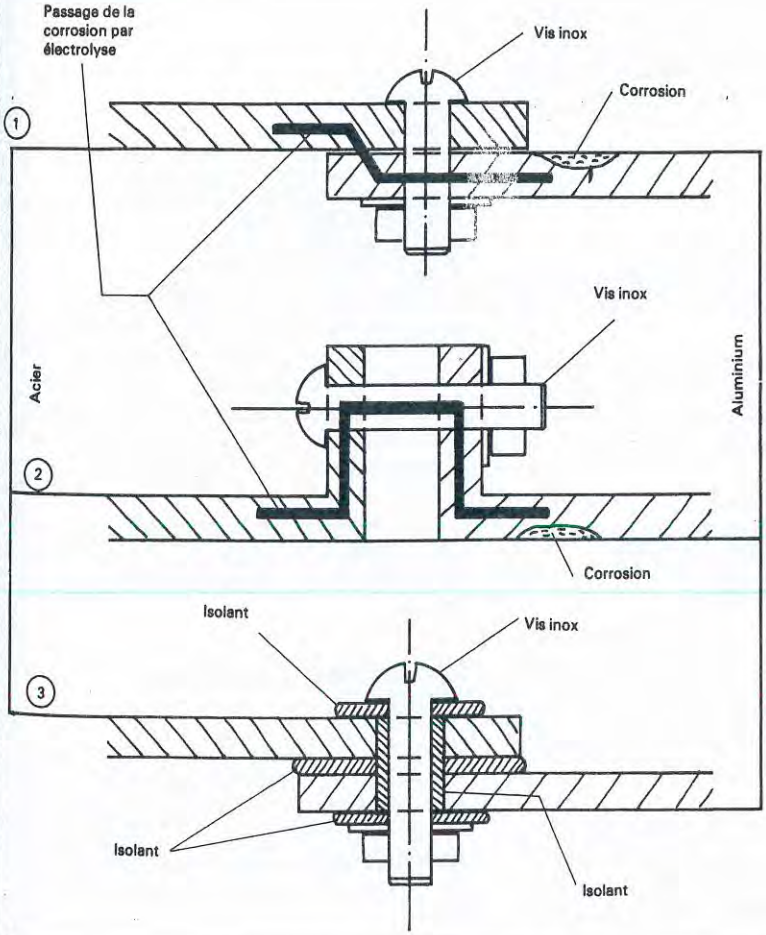


Croquis A 44 : *Cloisonnement en aluminium sur un pont en acier*

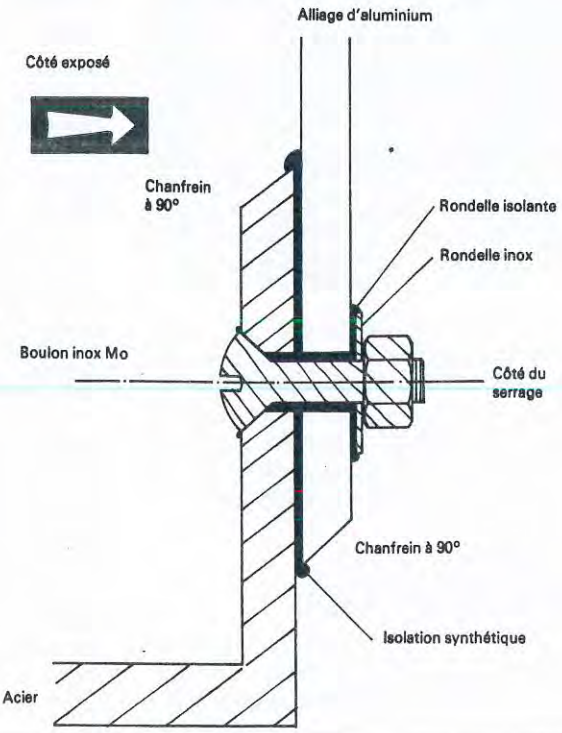


Croquis A 42 : *Assemblages hétérogènes*

1 et 2 : mauvais montages
3 : bon montage



Croquis A 46 : *Construction mixte acier/aluminium avec liaison boulonnée*



Voyez le dessin de cette expérience. Relions le haut des éprouvettes métalliques par un fil conducteur. Nous avons créé une pile galvanique ou voltaïque. On assiste à une migration des ions zinc vers le cuivre. Ces ions sont dissous dans la solution d'acide et un dégagement d'hydrogène se développe à la surface du cuivre, sans attaque du métal.

Pour arrêter la perte d'ions du zinc, il suffit de vider l'électrolyte ou d'ôter le fil conducteur qui fait passer l'électricité due à la différence de potentiels d'un métal à l'autre.

Deux éprouvettes de même potentiel ne créent pas d'effet pile.

Il faut un électrolyte, milieu acide, basique ou salin, pour créer l'attaque dite électrolytique. De l'huile, du pétrole, par exemple, ne provoquent pas cette attaque, même si on place les deux mêmes métaux que précédemment de la même façon et reliés par un fil conducteur. Cet électrolyte peut être de l'eau de mer, mais aussi une eau de ruissellement contenant en solution des traces de sels minéraux, des impuretés ou des gaz tels que le gaz carbonique...

Dans cette expérience, le zinc est l'anode (signe moins) et le cuivre est la cathode (signe plus). Le zinc est dit électronégatif par rapport au cuivre.

Voyez ci-après le tableau « *galvanique* » qui indique en millivolts les potentiels électriques de divers métaux et alliages par rapport à l'aluminium pur à 99,5 % (ancien symbole A5, nouveau symbole 1050A).

Magnésium	—	850
Zinc	—	300
A.SG	—	20
Cadmium	—	20
A.G	—	10
Aluminium 1050A		0
A.S13	+	20
A.U8	+	100
A.U4G	+	150
Fonte, acier	+	150
Chrome	+	180
Plomb	+	250
Laiton à 50 % de zinc	+	400
Nickel	+	480
Cuivre	+	500
Acier inoxydable non passivé	+	850
Argent	+	900
Mercure	+	900
Or	+	970
Platine	+	1.000

Ces potentiels sont indicatifs et varient largement selon la nature de l'électrolyte, sa concentration et sa température. La valeur donnée pour l'acier inoxydable et celle de l'inox actif. Il peut être passivé et dans ce cas est assez compatible avec les alliages d'aluminium au magnésium.

OXYGENATION DIFFERENTIELLE

Nous venons de le voir, il y a formation d'une pile entre deux métaux de potentiels électriques différents plongés dans un électrolyte et mis en contact par un conducteur. Il peut aussi y avoir perte de matière si deux zones d'un même métal, ou si deux métaux différents, sont baignés par un électrolyte mais avec une concentration d'oxygène différente en un point et un autre.

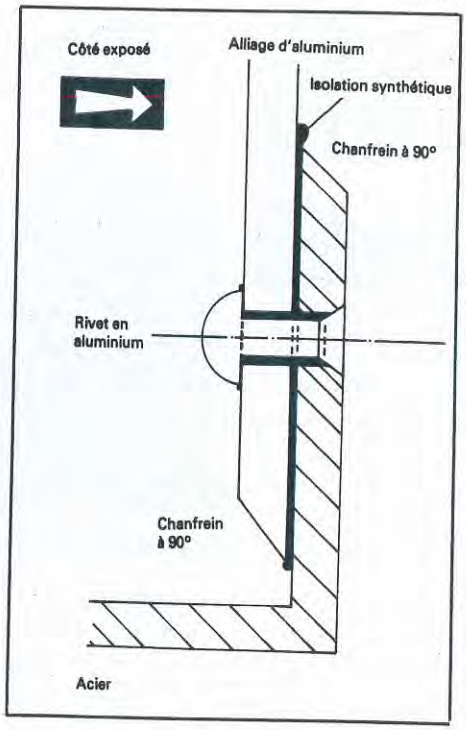
Par exemple, une fissure, une crique, deux tôles jointives en recouvrement et mal soudées. Voyez le dessin qui explique le phénomène. Donc une fissure va s'agrandir, de même qu'une porosité, et le métal sous une doublante, peut se corroder.

C'est ce qu'on appelle l'attaque électrolytique par aération, ou oxygénation différentielle.

Il est capital d'éviter :

- La coexistence de l'aluminium avec un métal électropositif par rapport à lui, sauf précaution.
- La stagnation d'humidité ou d'eau de mer en quelque zone que ce soit d'un bateau en « *aluminium* ».

Voyons-en l'application pratique.



Croquis A 47 : ***Construction mixte aluminium/acier avec liaison rivetée***

PROTECTION DES ASSEMBLAGES HETEROGENES

Nous l'avons vu plus haut, deux métaux de potentiels différents forment une pile électrique lorsqu'ils sont mis en contact direct ou indirect et dans un électrolyte. Le métal le plus électronégatif se détruit alors. Sa matière passe en solution dans l'électrolyte.

Entre eux, les alliages d'aluminium ne nécessitent pas réellement de protection l'un vis-à-vis de l'autre. Mais en présence d'atmosphère marine, voire lorsque cet assemblage, soudé à l'arc par exemple, trempe dans de l'eau de mer stagnante, une corrosion n'est pas exclue sous plusieurs années. Dans ce cas, ce sont les alliages comportant le plus de magnésium qui vont se détruire. Et éventuellement le métal d'apport qui constitue les cordons de soudure puisqu'il est sensibilisé par la fusion et possède une teneur égale ou supérieure aux tôles, en magnésium !

Il convient donc, contrairement à ce qu'on a longtemps cru, de peindre l'intérieur d'un bateau en aluminium s'il y a des différences importantes entre l'alliage de la structure et les tôles. Les chantiers sérieux veillent à l'homogénéité de cet ensemble. Il suffit de peindre les fonds dans la plupart des cas.

Avec de l'acier, du fer ou de la fonte, il faut protéger l'acier de l'atmosphère marine en le zinguant et le peignant comme nous le verrons dans le chapitre sur l'acier. Et il faut protéger l'aluminium de l'acier en peignant l'ensemble de la pièce. Nous en reparlerons dans le cas, assez rare il est vrai, des superstructures en aluminium de bateaux à coque d'acier.

Si l'aluminium est allié à un acier inoxydable, celui-ci doit être passivé à la pâte passivante. Voyez le chapitre sur les aciers inoxydables.

Le contact de l'aluminium et du plomb doit être évité, tout comme avec le cuivre, le bronze.

L'assemblage avec certains bois dont le chêne peut poser un problème, le tanin du chêne pouvant attaquer l'aluminium et même l'acier. On peindra donc le métal avant de le boulonner ou de le coller au chêne.

LUTTE CONTRE LA CORROSION DES ASSEMBLAGES HETEROGENES

Sens d'assemblage

Si on admet que les ruissellements se font plutôt de haut en bas, il conviendra déjà de placer l'alliage électronégatif (l'anode de l'assemblage) en haut, et la cathode (métal électropositif) en bas. Entre les deux, un joint étanche évite la remontée d'eau par capillarité et sa stagnation.

La disposition de l'assemblage contribue à atténuer ou aggraver la corrosion. Voyez les dessins d'assemblages types à ce sujet.

Protection de surface

Chimique :

- On peut protéger l'aluminium par un procédé dit de « *conversion chimique* » : phosphatation ou chromatation, comme on le fait pour l'acier. On dégraisse d'abord le métal au trichloréthylène, puis on le « *passe* » à l'un des produits suivants :

● Chromatation : Bonderite 700 ; Alodine 1200 ; Idirite 14/2.

● Phosphatation : Bonderite 707 ; Alodine 100.

Ensuite, on peut peindre l'assemblage au chromate de zinc.

Peinture :

Une base de protection de l'aluminium est le chromate de zinc. Bien entendu, on évite les sous-couches au plomb, car on devine « *la pile* » formée par le contact de ces deux métaux.

Il existe aussi des peintures bitumineuses.

L'autre métal peut être peint avec des systèmes lui convenant. Pour de l'acier, ce sera des sous-couches de zinc.

On peut aussi assembler de l'aluminium avec un acier galvanisé, métallisé ou pré-peint au zinc. Nous verrons ces techniques dans l'étude de l'acier.

Le bois sera peint avec des impressions à l'aluminium.

Joint. Collage

Entre les deux métaux ou entre l'aluminium et du bois ou du plastique, peints et convenablement traités comme ci-dessus, on étendra un joint d'étanchéité qui se répandra dans les interstices et les filetages. Ce peut être un joint silicone, un élastomère.

Les colles pourront être de diverses natures, comme nous le verrons plus tard, mais il faudra éviter des colles à base de chlorure.

Protection cathodique :

Une coque en acier, mais aussi une coque en aluminium peuvent être protégées de l'extérieur mais également d'eux-mêmes, par des « *anodes* ». Ce sont des masses de métal électronégatif par rapport à l'aluminium pour le cas qui nous occupe pour l'instant : magnésium de préférence, voire zinc.

Voyez le dessin de montage d'une anode au magnésium sur un bateau en aluminium.

Le montage est différent de ce qui se pratique avec l'acier. Pour un bateau en aluminium, on relie par un câble métallique et une pince à griffes, métalliques, une anode qui trempe dans l'eau de mer. Une ou plusieurs anodes appelées « pendanodes ».

En effet, l'aluminium étant électronégatif par rapport à tout ce qui l'entoure en général (acier, cuivre, bronze), c'est surtout de l'extérieur qu'on le protège. Nous verrons, dans l'étude détaillée des anodes pour une coque en acier, que le cas est sensiblement différent.

RIVETAGE

De nos jours, on trouve beaucoup de constructions rivetées en aéronautique, outillage, machines, mais fort peu en construction navale de plaisance, sauf des barques, annexes et petits bateaux de pêche. Sans doute, l'aspect des constructions rivetées y est-il pour beaucoup.

Le rivetage convient aux aluminiums et à ses alliages. Cette technique répond à des nécessités d'efforts dans le plan de la tôle, donc en cisaillement des rivets.

Les rivets

Ils sont faits en aluminium ou le même alliage que celui des tôles à assembler. Plus mous que la tôle, ils n'assureraient pas un assemblage solide. Plus durs, le rivetage laisserait des traces sur la tôle.

On utilise fréquemment des rivets en 5056 A, sauf pour les rivetages à chaud (à plus de 75°) où on utilise des rivets en 5086 et 6060.

On peut riveter des tôles d'alliages 5086 et 5056 A avec des rivets en acier, selon la technique décrite plus loin.

On compte divers types de rivets :

● Rivets pleins à tête fraisée à 90°.

● Rivets pleins à tête ronde (pour efforts plus violents).

● Rivets pleins à tête fraisée et bombée à 120°.

● Rivets pleins à tête fraisée cylindrique et plate.

En aéronautique, on utilise des rivets tubulaires.

La fabrication des rivets est normalisée par la norme NF L 21.105 (pour les rivets non destinés à l'aéronautique). Ils subissent des traitements thermiques avant leur livraison consistant en un recuit à 400° pour les 5086 et 5056 A, une trempe à 495° ou 530° pour les rivets des séries 2000 et 6000.

Diamètre des rivets

On opte en général pour des rivets d'un diamètre égal à 1,8 fois l'épaisseur de la tôle ; si cette épaisseur est inférieure à 2 mm, on choisit des rivets d'un diamètre compris entre 2 fois et 2,5 fois cette épaisseur.

Espacement des rivets

L'espacement correct des rivets se calcule par la formule suivante :

$$F = N \frac{d^2}{4} Rc$$

Formule dans laquelle :

F est l'effort admis par l'assemblage.

N est le nombre des rivets.

d est le diamètre des rivets.

Rc est la résistance au cisaillement des rivets.

Pose

Pour une tôle d'alliage 5086 ou 5056 A la pose des rivets de diamètres courants se fait à froid. La charge à la rupture au cisaillement est de 15 hbars pour l'alliage 5086 et 18hbars pour l'alliage 5056A.

L'outillage utilisé pour la pose de rivets comprend des marteaux riveurs normaux ou à bouterolles tournantes. On utilise des bouterolles à arêtes non coupantes. On peut aussi utiliser des presses pneumatiques. Les marteaux doivent être plus résistants que ceux que l'on utilise pour le rivetage de l'acier.

Assemblage acier-aluminium

Pour assembler une tôle d'acier à une tôle d'alliage aluminium, on peut choisir le rivetage. Dans ce cas, on dégraisse, décape, lave, sèche, peint et enduit la tôle d'alliage avant le rivetage ; on brosse, dégraisse, décape, zingue (5 à 10 grammes par dm²) et peint (couche primaire) la tôle d'acier. On choisit des rivets en acier. Leur tête est placée du côté de la tôle d'acier. Ils sont posés à chaud.

Ensuite, on repeint l'ensemble pour en assurer une bonne finition. *(Photos A 20, A 22. Croquis A 42 à A 47).*

15

LE SOUDAGE

SOUDABILITÉ DES ALLIAGES COURANTS

Certains alliages, de par la présence de l'un ou l'autre des métaux qui les composent, peuvent poser des problèmes particuliers.

Ainsi, le cuivre des alliages au cuivre précipite sous forme de l'AL2Cw aux joints des grains et amène une fragilisation due aux micro-criques formées. Les soudages TIG et MIG classiques ne sont pas adaptés à ces alliages. Il leur faut une protection gazeuse dite « *améliorée* ».

Par contre, les alliages au magnésium ou au zinc et magnésium se soudent par les procédés MIG et TIG selon les épaisseurs considérées. On n'y note pas de phénomène de brûlures.

Les alliages de type A.SG au silicium voient leurs caractéristiques très modifiées par le soudage. Ces alliages sont courants dans la fabrication des mâts. Après soudage, il est souhaitable de leur faire subir un traitement thermique reconstituant leurs caractéristiques appauvries par le recuit partiel qu'est le soudage. Sans ce traitement thermique après soudure, les caractéristiques mécaniques des A.SG restent définitivement abaissées.

On y gagne dans le soudage des A.SG à souder avec un cycle thermique à refroidissement très rapide, ce qui condamne le préchauffage. Il faudra opter pour une forte puissance calorifique lors du soudage et pour une grande vitesse d'exécu-

CARACTERISTIQUES MECANIQUES, ESSAIS DE TRACTION

Alliage de base	Métal d'apport	Traitement après soudage	R = hbars	E = hbars	A = %
A.G3 1/2 DUR	A.G4	BRUT DE SOUDAGE	21,7	9,6	20,4
A.G4 MC RECUIT	A.G 4,50 MC ou A.G5 MC	BRUT DE SOUDAGE	27,5	11,5	19
A.G5 1/2 DUR	A.G5	BRUT DE SOUDAGE	29,9	14	18

Alliage de base	Epaisseur	Méthode de soudage	Métal d'apport	Traitement après soudage	T = hbars	E = hbars	A %
A.SG ETAT T6	3	TIG	A.S5 A.GS	BRUT	20,2 20,5	14,5 15,5	— —

tion. Ce qui revient à dire qu'on soudera plutôt en MIG.

Ceci pour les alliages filés.

La plupart des alliages de fonderie sont soudables sans gros problèmes sauf l'A.U5GT dont le soudage n'est pas conseillé.

CORRESPONDANCE DES DESIGNATIONS DES METAUX D'APPORT

A.5 = 1050
A.8Ti = 8004
A.99 = 1199
A.G 3C = 5154
A.G 3,5 MC = 5854
A.G 4,5 MC = 5183
A.G 5 MC = 5356
A.S5 = 4043
A.S10 = 4045
A.S12 = 4047.

Les métaux d'apport sont livrés en fil rond en bobines de 0,5 ou 5 kg.

RESUME DES NORMES DE SECURITE DES BATEAUX DE PLAISANCE

PROCEDE :

TIG ou MIG. Voir leurs définitions.

Mig .

Moins de déformations. Peu recommandé en dessous de 4 mm. Exclu endessous de 2 mm. C'est le procédé le plus répandu. La première passe de fond peut être faite en Tig pour un cordon multipasse.

Entraînement de fil conseillé :

Poussé et tiré. En tout cas, pas de fil pousse ! Eventuellement, le fil tiré est utilisable. Idéal = Mig pulsé.

PREPARATION :

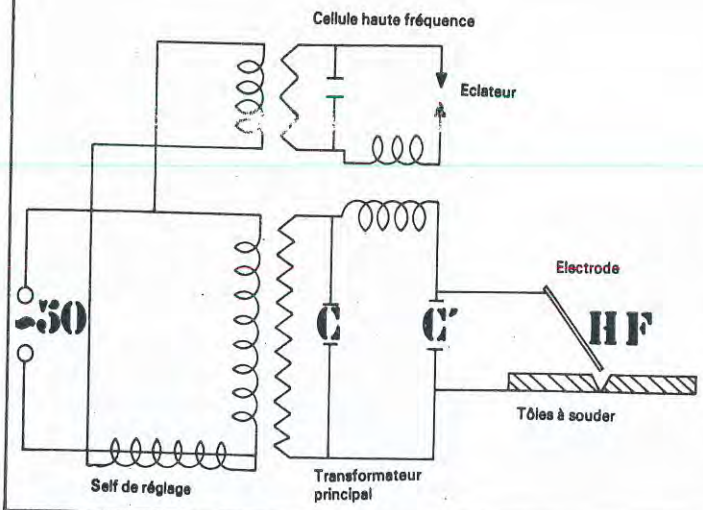
- Affranchir les bords.
- Dégraisser. Supprimer toute trace d'oxydation.
- **Ajustage très minutieux des joints (sans commune mesure avec l'acier !)** : 0 à 1,5 mm. Les déformations dues aux retraits augmentent vite avec les irrégularités de l'espacement entre les tôles. Le retrait augmentant avec l'écartement.

CONSTRUCTION :

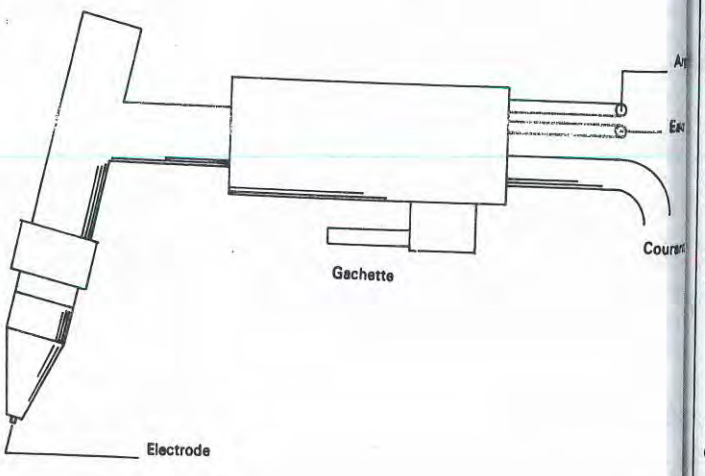
- On commence par la structure qui doit être suffisamment dense, proportionnellement à l'épaisseur des tôles.
- En règle générale sauf emploi de tôles épaisses, l'écartement de structure minimum est de 0,50 m entre membrures ou entre lisses.
- Si la structure est plus espacée, on lui ajoute un mannequin de construction.
- Les tôles sont d'abord pointées entre elles par le côté extérieur puis bridées sur la structure.
- On commence par le soudage des tôles d'extrémité, d'un côté puis de l'autre, symétriquement vers l'autre extrémité.
- Le chenillage des tôles sur la structure se fait en quinconce, en pas de pélerin, pour éviter les déformations.
- On plane éventuellement les tôles au fur et à mesure du soudage.
- On effectue le soudage intérieur des tôles entre elles. On procède au gougeage (à la gouge ou à la meule) puis à la reprise extérieure.
- On plane et surface les cordons entre tôles.

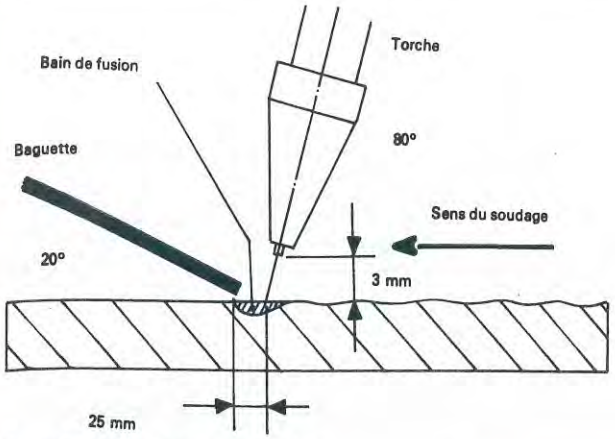
Le pont est traité de la même façon que la coque. Il faut maintenir la plus rigoureuse régularité dans l'écartement entre les tôles. Au fur et à mesure du soudage, les tôles sont planées par des chaudes de retrait.

Croquis A 48 : *Schéma d'alimentation - Soudage T.I.G.*

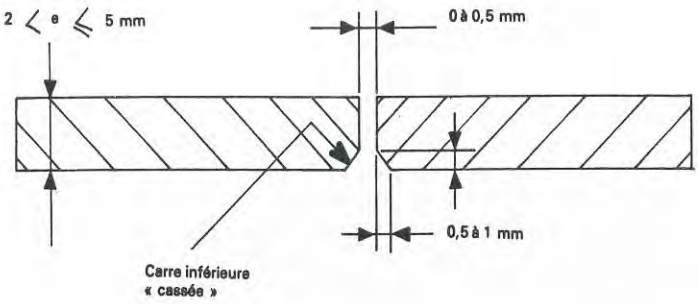


Croquis A 49 : *Torche pour soudage T.I.G.*





Croquis A 50 : *Tenue de la torche en soudage T.I.G.*



Croquis A 51 : *Préparation à bords droits, libres, pointés, pour soudage manuel T.I.G.*

QUALITE DES SOUDURES :

- Veiller à la bonne pénétration.
- Penser à l'exécution du talon en départ et en fin de cordon. On peut aussi continuer le cordon sur une plaquette prolongeant les tôles à souder. On coupe ensuite cette plaquette dite « martyr ».

SOUDAGE DES TOLES BOUT A BOUT :

Eliminer les fissures et les cratères du premier cordon, intérieur, lors de son gougeage en vue de l'exécution du second cordon, extérieur.

Eventuellement, utiliser un produit pénétrant de ressuage. Les nids de prosités doivent être éliminés si on procède à l'arasage du cordon. En moyenne, une densité de 4 % de porosités est consentie.

Eviter l'apparition d'un bourrelet de pénétration du côté opposé au côté du cordon en cours d'exécution.

ALLIAGE :

En soudage MIG ou TIG, on utilise la même nuance pour le métal de base (bateau) et le métal d'apport (électrode), c'est-à-dire en général A.G4MC ou AG4,5MC, ou la nuance plus riche en magnésium = A.G4,5MC ou A.G5MC.

En soudage MIG, l'électrode est de diamètre 1 à 1,2 pour les épaisseurs courantes de tôles.

En soudage TIG, on opte pour des diamètres de 3 à 4 mm.

Mig

Des tôles de 4 mm sont soudées :

- **En deux passes opposées pour une soudure verticale montante, avec :**
  Intensité = 150 ampères
  Tension = 26 à 28 volts
  Argon = débit de 28 litres par minute
  Vitesse = 70 cm par minute.
- En une passe pour soudure à plat ou à clin :
  Intensité = 170 ampères.

TIG

EPAISSEUR en mm	PREPARATION	POSITION	INTENSITE : ampères	Diamètre d'électrodes	Diamètre de fils	Débit d'Argon	Nombre de passes	Vitesse de soudage : cm/minute
3	Bords droits	A plat	125	3	3	7	1	15
		Montante	115	3	3	7	1	20
5	Bords droits	A plat	180	4	4	7	1	10
		Montante	170	4	4	7	1	15
5	En V.	A plat	175	4	4	7	2	15
		Montante	160	4	4	7	2	20

Pour les soudages en angle ou à recouvrement (clin), l'intensité est augmentée de 15 %.

TABLEAU DE CARACTERISTIQUES DE SOUDAGE M.I.G.

EPAISSEUR en mm	PREPARATION DES BORDS	Tension à vide	Tension en charge	INTENSITE : A	DIAMETRE DU FIL : mm	DEBIT d'Argon : L/mn	VITESSE DE SOUDAGE cm/mn	DEBIT DE GAZ : L/mn	CONSOMMATION DE FIL : gr/m
4	Bords droits	24	20	160 180	1,2	15	60 à 80	18 20	40
5	Bords droits	26	22	180 200	1,2	18	60 à 80	20 24	60
6	Bords droits ou V	28	24	190 210	1,2	20	60 à 80	24 26	90
8	En V	29	26	210 230	1,6	24	50 à 70	26 28	160
10	En V	30	27	230 250	1,6	28	40 à 60	28 30	240

En deux passes séparées par un gougeage.
En courant continu à polarité inversé.

SOUDAGE OXYACETYLENIQUE

Je le mentionne uniquement pour connaissance car cette technique est totalement abandonnée. Elle avait comme intérêt de pouvoir souder des feuilles de moins de 2 mm d'épaisseur. C'est la fusion à l'aide d'un chalumeau alimenté en oxygène et acétylène du métal de base et d'un métal d'apport sous forme de baguette du même alliage. Les alliages de la série 6000 et le 5086 (A.G4MC) se soudaient avec un métal d'apport du même alliage mais d'une teneur en magnésium immédiatement supérieure. Pour éliminer l'alumine, il fallait souder sous *« projection »* d'un flux dont peu n'étaient pas corrosifs. Cette présence de

flux corrosif était le talon d'Achille de cette technique car elle compromettait la longévité des pièces soudées.

SOUDAGE A L'ARC

Le soudage à l'arc, sous atmosphère inerte ou neutre, a été mis au point pendant la Seconde Guerre mondiale aux U.S.A., pour les alliages de magnésium. A l'origine, le gaz utilisé était l'hélium. Maintenant, l'hélium est remplacé par l'argon.

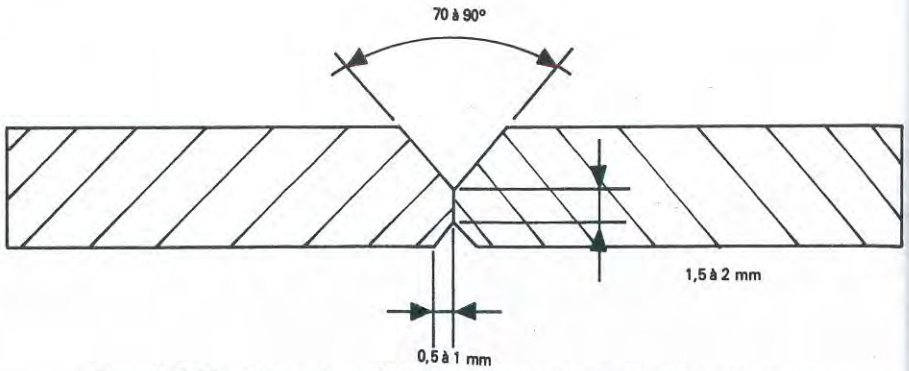
Il existe deux principes d'arcs à usage courant :

— Soudage à l'arc avec électrode fusible en alliage léger, connu sous le nom de MIG = Metal Inert Gas.

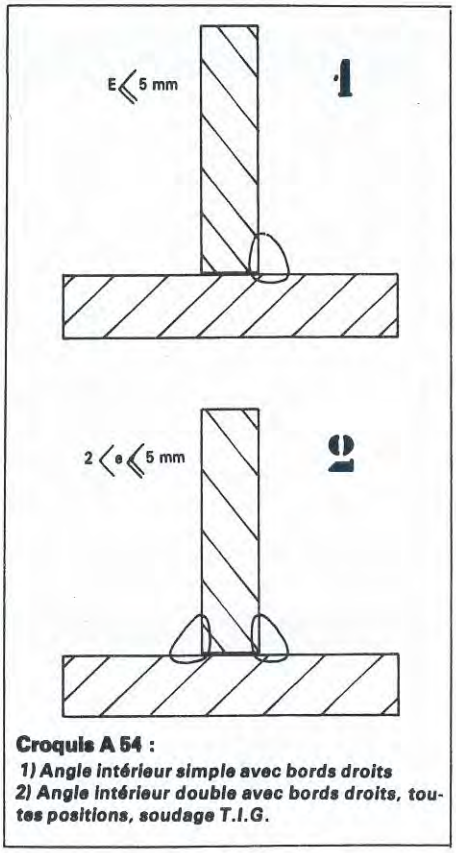
— Soudage à l'arc avec électrode réfractaire connu sous l'appellation TIG = Tungsten Inert Gas.

Il n'y a plus d'utilisation de flux pour décaper l'alumine, ni d'enrobage. D'où suppression du risque d'inclusion ou de corrosion, et du rinçage du flux.

L'utilisation de baguettes à enrobage peut encore être admise pour des petites réparations de tôles déchirées ou de pièces de fonderie cassées. Le matériel de soudage est alors assez réduit et permet des dépannages dans des zones d'accès difficile. Si des bateaux étaient encore construits jusqu'à il y a une dizaine d'années à la soudure dite autogène, pour de petites embarcations, ce procédé est réservé aux réparations et a cédé le pas aux techniques TIG et MIG.



Croquis A 52 : *Préparation en V, bords libres pointés pour soudage manuel T.I.G.*



Croquis A 54 :
1) Angle intérieur simple avec bords droits
2) Angle intérieur double avec bords droits, toutes positions, soudage T.I.G.

LE PROCÉDÉ T.I.G.

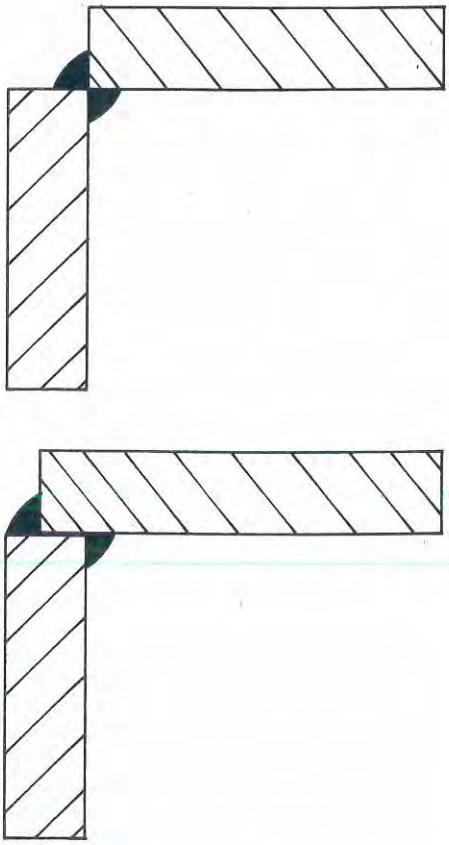
(Croquis A 48 à A 55).

COURANT DE SOUDAGE

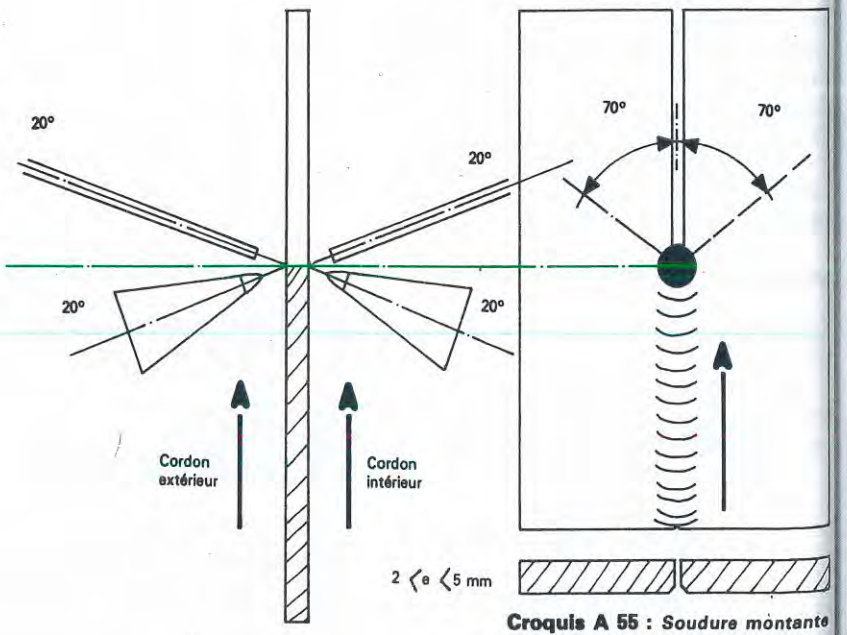
On peut souder en courant continu inverse qui décape bien l'alumine lors de la fusion du métal de base (métal de la pièce à souder). Mais la consommation de métal d'apport est énorme.

On peut souder en courant continu direct. La pénétration est bonne, la vitesse de soudage excellente. Mais il faut utiliser une protection à l'hélium, qui coûte cher.

On soude plus généralement en courant alternatif qui représente un excellent compromis. Le gaz utilisé est l'argon. Il est nécessaire que le courant de soudage soit parfaitement équilibré. La source peut être rotative ou statique. Il lui sera ajouté, en série, une batterie de condensateurs. Pour superposer au courant principal un circuit haute fréquence, on dispose soit de générateurs à étincelle pilote (oscillant), ou de stabilisateurs d'arc par impulsion.



Croquis A 53 : *Position des tôles pour soudage en angle sur bords droits : T.I.G.*



Croquis A 55 : *Soudure montante avec second cordon de « reprise » T.I.G.*

LE GAZ

Argon ou hélium (ou le mélange des deux) sont livrés en bouteilles de 10 m3 sous pression de 200 bars. Un détenteur ramène le gaz à 4 bars.

PORTE-ELECTRODE

Il existe plusieurs types de torches (pour l'acier on ne parlera que de la pince) composées d'un corps où passent les conduits d'argon et de refroidissement, l'arrivée de courant électrique, la pince porte-électrode.

Une buse en métal réfractaire canalise le gaz.

Citons :

- Torche manuelle de type torche crayon, torche flexible, porte-buse interchangeable.
- **Torche à refroidissement naturel :** utilisant des courants de moins de 150 A, pour souder des tôles de moins de 3 mm, avec des électrodes de 1 à 2 mm.
- **Torche refroidie à l'eau :** pour tous courants notamment de plus de 150 A, allant jusqu'à 350 A en régime discontinu
- **Torche machine :** lorsqu'on veut mécaniser le travail de soudure, la torche est montée sur un ensemble mobile couplé à un lecteur, des palpeurs, une mémoire d'ordinateur, un dérouleur de fil de métal d'apport si celui-ci est nécessaire.

ELECTRODES

Elles sont en tungstène ou en tungstène thorie plus faciles à amorcer et qu'on peut utiliser sous des intensités élevées. Elles se détruisent assez vite et le courant alternatif ne leur convient guère. Pour que l'électrode ne s'oxyde pas après le soudage, pendant son refroidissement, il faut laisser le courant gazeux pendant quelque temps. L'extrémité de l'électrode doit rester brillante.

Une commande automatique et temporisée du courant d'argon est en général conçue sur les postes à souder pour ouvrir et couper ce gaz.

L'électrode consommable est, pour le bateau, en AG 5 ou AS 12.

Le soudeur doit porter des gants, des vêtements en coton résistant aux UV et ne les laissant pas passer ce qui occasionnerait des brûlures analogues aux coups de soleil, des chaussures épaisses à semelles isolées (synthétiques).

DEFAUTS D'ARC OU DU METAL

- L'arc est instable et redresse : mauvais réglage de la haute fréquence ; mauvaise connection du circuit.
- **L'arc crache, le cordon est irrégulier, des taches apparaissent, des inclusions se produisent :** électrode corrodée ou oxydée, métal de base corrodé, oxydé, mal nettoyé ou mal dégraissé.
- **L'électrode chauffe trop :** le refroidissement ne fonctionne pas normalement ; la densité du courant est excessive pour les caractéristiques de la torche ; l'électrode est trop rentrée dans la buse.
- Le soudage est trop lent, la pénétration n'est pas suffisante : le courant est trop faible ; l'électrode est trop grosse.

ETAT DE SURFACE DES PIECES A SOUDER

Les méthodes de soudage à l'arc sont nettement améliorées à condition que toutes les conditions soient réunies pour leur bonne application.

Notamment les pièces à souder doivent être correctement préparées :

- Elles doivent être dégraissées au jet de vapeurs de trichloréthylène ou à l'aide de solvants.
- Elles doivent être décapées mécaniquement (brosses...) ou dérochées chimiquement par un produit convenant à cet usage (alcalin ou acide, soude caustique puis rinçage et bain neutralisant...).

PROPRETE DE L'ATELIER

A la différence de l'acier peu sensible à l'atmosphère régnant dans l'atelier, à condition que le niveau de saletés grasses reste compatible avec ce travail, l'aluminium doit être travaillé dans un atelier propre, exempt de vapeurs ou poussières grasses, de traces de graisse sur les lieux de soudage. Il n'est pas bon de travailler côte à côte un bateau en acier et un bateau en aluminium qui, recevant des poussières d'acier, donnerait l'impression de rouiller. Voyez les autres conseils dans le chapitre sur la mise en œuvre et le chaudronnage de l'aluminium.

Un bateau en aluminium peut « cohabiter » avec un bateau en acier dans un atelier s'il ne risque pas de recevoir des projections de meulage d'acier.

L'atelier doit être exempt de courants d'air qui pertuberaient l'arc et sa protection d'argon. Travailler l'aluminium en plein air n'est pas très sérieux !

La condensation et l'humidité dans les lieux de stockage des tôles, profilés, électrodes et baguettes de métal d'apport ou bobines de fil, sont un facteur d'oxydation dans les cordons.

PREPARATION DES BORDS POUR PROCEDE T.I.G.

On trouve des bords préparés :

- En bords droits avec ou sans écartement.
- En chanfrein en V avec talon.
- En chanfrein en V sans talon.
- En demi Y, en Y.
- En X avec talon, symétrique ou non.
- En U.

Pour être assuré d'avoir une bonne soudure, il faut raboter la carre (l'angle) inférieure et de parfaitement affranchir les rives. Voir le chapitre général de mise en œuvre.

TENUE DE LA TORCHE

La torche se tient à pleine main ou comme un crayon entre le pouce, l'index et le majeur, selon les dessins qui présentent ces positions.

De même, des dessins vous décrivent la position de la torche et du métal d'apport pour les soudures à plat et verticale montante.

Des glissements alimentent goutte à goutte le bain de fusion et amènent le métal d'apport à fondre dans le bain.

Si la baguette est tenue trop verticalement, en soudage à plat, le métal d'apport se volatilise dans l'arc.

Si elle est trop inclinée, on risque des inclusions d'oxydes dues au mauvais décapage de la baguette. Une bonne position est à 20°, pour le soudage à plat.

AMORÇAGE

L'amorçage d'une électrode au tungstène ne se fait pas directement sur l'acier et surtout pas sur l'aluminium (ni sur carbone). On amorce l'électrode sur une plaque de cuivre prévue à cet effet.

POINTS

Pour le pointage de l'aluminium, on convient qu'un bon espacement entre les points est de 20 fois l'épaisseur des tôles. Par exemple 8 cm pour des tôles de 4 mm.

Les points doivent avoir une bonne pénétration pour ne pas se casser lors de l'exécution du cordon. Les deux tôles à souder, dans un soudage bord à bord, doivent être parfaitement de niveau. Eventuellement, on les y amène par un planage au maillet. Je rappelle qu'on n'utilise pas d'outils durs pour frapper sur l'aluminium, ni des outils marqués de traces de rouille.

DEPART DE CORDON CONTINU

On ne commence pas un cordon au bord des tôles, ce qui risque de se traduire par une fissure qui suit la formation d'une crique.

On débute un cordon par un talon. Ce talon démarre à quelques cm du bord du joint et se soude vers le bord des tôles. Puis on repart en superposant le cordon et le talon sur deux ou trois cm. En effet, en soudage T.I.G. on forme un bain de fusion, sans bouger la torche, et sans métal d'apport, par fusion du métal de base. Ensuite, seulement lorsque la pénétration est sûre, on dépose le métal d'apport.

ARRÊT DE CORDON ET REPRISE

Si on coupe brusquement l'arc, il se crée en bout de cordon une fissure étoilée, et une possible pénétration d'eau (pour un bateau). Il faut arrêter un cordon par une série de très brèves coupures de l'arc suivies de réamorçages. On forme ainsi une petite accumulation de métal d'apport en bout de cordon. Ce qui sera meulé par la suite.

Maintenant, les appareils modernes sont équipés d'un dispositif qui étouffe l'arc d'une façon très progressive et évite la fissure en étoile. Ce dispositif supprime le processus décrit plus haut qui reste nécessaire pour les appareils de soudage TIG qui n'en sont pas pourvus.

Lorsqu'on reprend un cordon interrompu, ou lorsqu'on entame un cordon après avoir exécuté le talon, il faut gouger (à la meule) environ 2 cm du cordon déjà déposé et repartir de cet endroit. Reprendre un cordon là où l'on avait arrêté, et sans cette précaution décrite, occasionne des porosités nuisibles à l'étanchéité de l'ouvrage.

SOUDAGE TIG, MODE OPERATOIRE

Le procédé T.I.G. concerne les fines épaisseurs. En dessous de 3 mm d'épaisseur, deux tôles doivent être soudées avec la méthode T.I.G. L'épaisseur 4 mm laisse le choix entre le T.I.G. et le M.I.G. Au-dessus de 4 mm, on opte pour le M.I.G. sans hésitation (bien que l'opération soit réalisable en T.I.G.). L'épaisseur de 3 mm est une épaisseur difficile parce qu'elle se situe à la charnière des avantages et inconvénients des deux méthodes et seuls de bons chantiers oseront s'y lancer sans risque de décevoir leur clientèle. Prudence avec les tôles de 3 mm d'alliage d'aluminium !

Soudage à bords relevés :

Du fait des faibles épaisseurs soudées, cette méthode est intéressante. Elle est utilisée dans la fabrication de réservoirs.

Soudage bord à bord :

La méthode TIG n'est recommandée qu'en dessous de 4 mm, si bien qu'au-dessus de 4 mm la préparation des bords est analogue à celle des tôles épaisses soudées par d'autres procédés : chanfrein en V, X ou U ; demi-V, Y ou demi-U.

La torche est tenue à 80° avec la tôle et penchée en arrière par rapport au sens du soudage. La baguette de métal d'apport est inclinée à 20° sur l'horizontale, vers l'électrode au tungstène.

Soudure montante :

La torche est tenue perpendiculairement au plan de la soudure.

Ep. en mm	Préparation	Position	A : Intensité	ϕ d'électrode en mm	ϕ de fil d'apport en mm	Débit d'Argon l/mn	Nombre de passes	Vitesse de soudage cm/mn
3	Tôles avec arête inférieure cassée, écartée de 0 à 0,5 mm	A plat	125	3	3	6 à 7	1	15
		En corniche, montante	115	3	3	6 à 7	1	20
5		A plat	180	4	4	7 à 8	1	10
		En corniche, montante	170	4	4	7 à 8	1	15

Recouvrement :

Le soudage à recouvrement ou à clin est possible. Dans ce cas, comme dans les autres, il faut raboter (casser) l'arête inférieure des tôles.

L'écartement entre les tôles ou leur ajustage doit être très rigoureux. Des espaces irréguliers mènent irrémédiablement à des déformations, des contraintes internes et des ruptures de soudures.

Soudures en bouchon :

Notamment utilisées pour la fabrication des gouvernails, les soudures en bouchon sont réalisables par le procédé TIG. On ne chanfreine pas les bords des entailles. On préfère des entailles à des trous ronds. Les entailles sont espacées de trois fois leur propre longueur. Par exemple 15 cm d'axe à axe pour des entailles de 5 cm de long ; soit une entaille tous les 10 cm.

Défauts de soudures T.I.G.

DEFAUTS

Cordon gris, plage blanche à peine visible, taches noires.

CAUSE PROBABLE

- Métal d'apport oxydé.
- Protection d'argon inefficace.
- Poste de soudage inadéquat.

DEFAUTS

Vagues très prononcées en forme de long V.

CAUSE PROBABLE

- Trop d'intensité.
- Soudage trop rapide.

DEFAUTS

Cordons creux, caniveaux.

CAUSE PROBABLE

- Diamètre de métal d'apport insuffisant.
- Chanfrein insuffisant.
- Intensité trop forte.

DEFAUTS

Pas de pénétration.

CAUSE PROBABLE

- Intensité trop faible.
- Soudage trop rapide.
- Amorçage mal fait (voir ce chapitre).

DEFAUTS

Cordons irréguliers.

CAUSE PROBABLE

- Vitesse irrégulière de soudage.
- Tenue de torche irrégulière.
- Bords irréguliers, mal affranchis.
- Espacement irrégulier.

DEFAUTS

Porosité.

CAUSE PROBABLE

- Cordons arrêtés et mal repris.
- Pointage sans pénétration : un point bien préparé est concave ; un point mal pénétré est convexe.

DEFAUTS

Bourrelets de pénétration sous la tôle.

CAUSE PROBABLE

- Arête inférieure non abattue.
- Envers des tôles mal dégraissé.
- Décalage d'une tôle par rapport à l'autre.

DEFAUTS

Inclusion de tungstène.

CAUSE PROBABLE

- Intensité inadéquate par rapport au diamètre de l'électrode.

DEFAUTS

Criques longitudinales au milieu du cordon

CAUSE PROBABLE

- Erreur d'alliage du métal d'apport.
- Pas assez de métal d'apport.
- Pièces trop bridées.
- Refroidissement trop rapide.

DEFAUTS

Criques longitudinales en bord de cordon

CAUSE PROBABLE

- Erreur d'alliage.
- Chaleur excessive.
- Tôles trop bridées.

DEFAUTS

Crique au début du cordon

CAUSE PROBABLE

- Oubli d'exécution d'un talon.

DEFAUTS

Crique isolée en étoile

CAUSE PROBABLE

- Arrêt trop brusque de l'arc.

DEFAUTS

Porosités non alignées

CAUSE PROBABLE

- Préparation de surface, avant soudage, mal faite, pas assez soignée.
- Tôles grasses.
- Tôles oxydées.
- Tôles, baguettes, électrodes humides.
- Air dans l'argon.

DEFAUTS

Porosités alignées

CAUSE PROBABLE

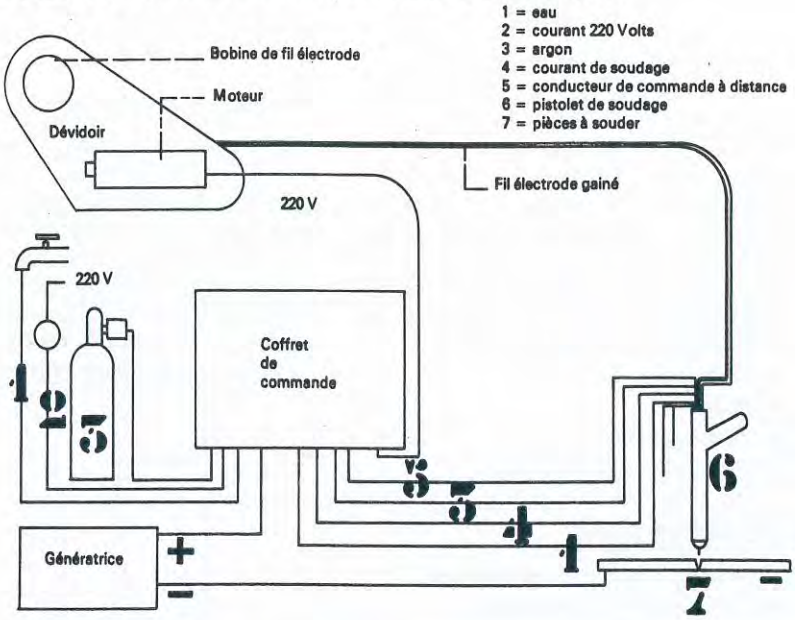
- Défauts de pénétration.
- Gradient de température trop brutal.
- Refroidissement trop brutal.

PROCEDE M.I.G.

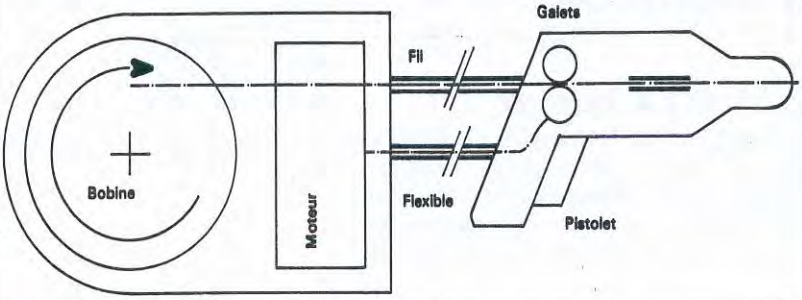
Je vous le disais précédemment, le procédé M.I.G. est mieux adapté aux soudages des tôles et profilés de plus de 4 mm d'épaisseur.

Comme dans le procédé T.I.G., une protection d'argon entoure l'arc et évite l'oxydation du cordon. Mais cette fois, l'arc se produit entre la pièce à souder et

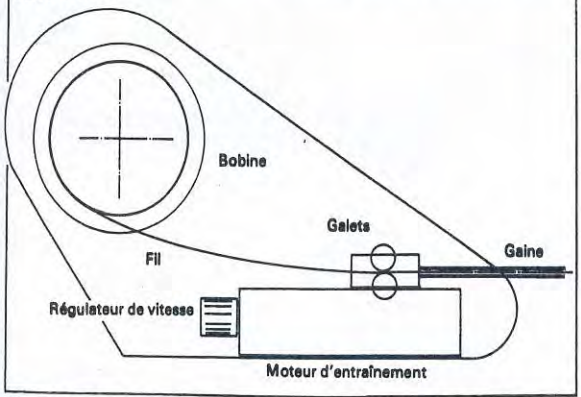
Croquis A 56 : ***Schéma de l'ensemble du dispositif de soudage M.I.G.***



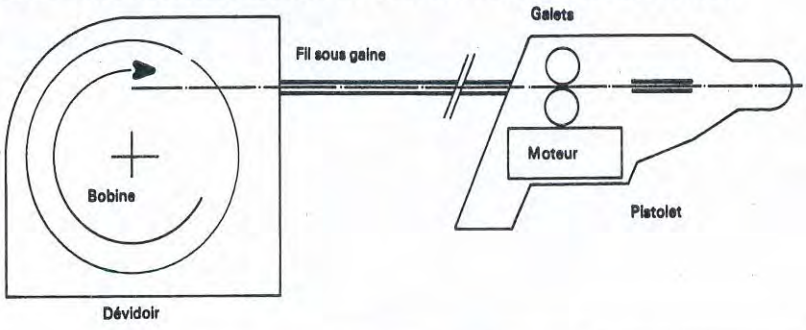
Croquis A 58 : ***Soudage M.I.G. à fil tiré et moteur d'entraînement dans le dévidoir***



Croquis A 57 : ***Schéma d'un dévidoir de fil poussé pour soudage M.I.G.***

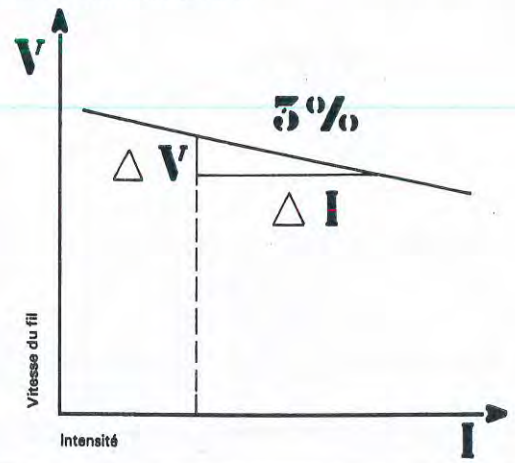


Croquis A 59 : ***Soudage M.I.G. à fil tiré et moteur d'entraînement dans le pistolet***

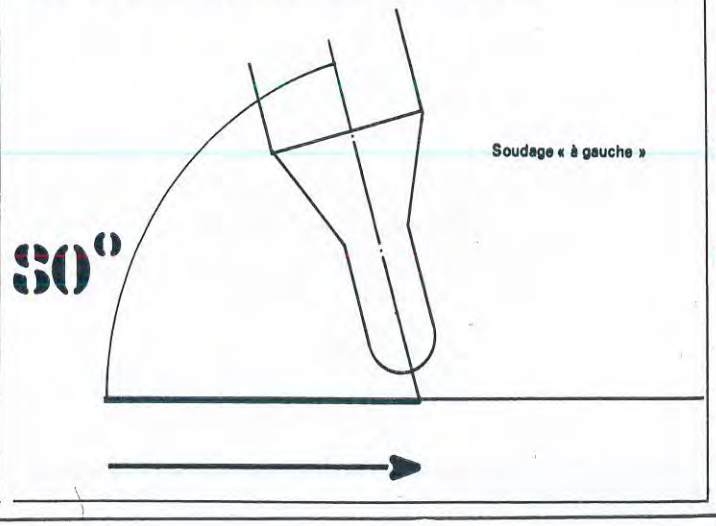


Croquis A 60 : ***Courbe du rapport vitesse de fil/intensité***

Plus le rapport $\frac{\Delta I}{\Delta V}$ est grand (donc moins la pente est forte), et plus l'arc est stable. L'idéal est voisin de 3 %.
I = Intensité.
V = Vitesse de déroulement et de fusion



Croquis A 61 : ***Tenue du pistolet en soudage M.I.G. à plat***



une électrode non pas de tungstène, mais du même alliage que la pièce.

Les atouts du procédé M.I.G. sont une grande vitesse et une bonne pénétration. C'est pourquoi le procédé M.I.G. s'adapte bien aux fortes épaisseurs. C'est le procédé le plus employé en construction navale. De plus, l'électrode en « *baguette* » est remplacée par un fil d'alliage qui se dévide au fur et à mesure qu'avance le cordon. Une grande partie de la qualité de soudure relève du type de dévidage du fil et de sa régularité. **Il en existe plusieurs procédés :**

- Fil poussé.
- Fil tiré.
- Fil poussé et tiré.
- Fil pulsé ou par impulsion.

LE MATERIEL

Le soudage M.I.G. nécessite :

- Une alimentation électrique.
- Un appareil dévidant le fil électrode (dévidoir).
- Une alimentation en argon.
- Un pistolet de soudage.
- Divers autres appareils accessoires.

Courant de soudage :

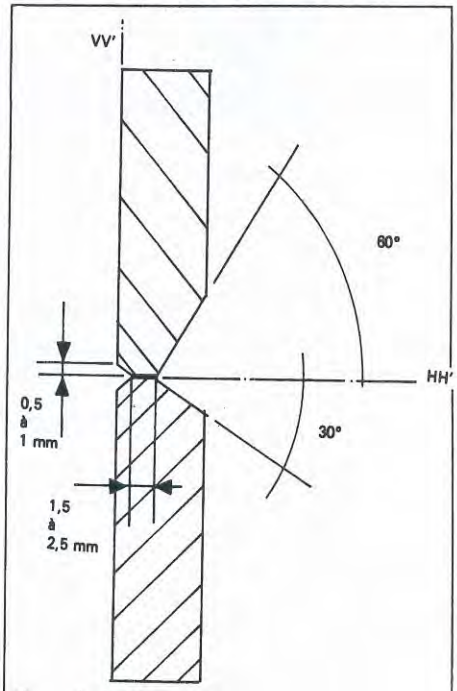
L'arc est alimenté en courant continu à polarité inverse. On l'a vu, ce courant a un fort pouvoir décapant. Il élimine donc parfaitement la pellicule d'alumine. De plus, il chauffe fortement le fil dont la fusion est parfaite et facilite la pénétration. Cette pénétration est encore améliorée par une haute densité de courant.

Source de courant :

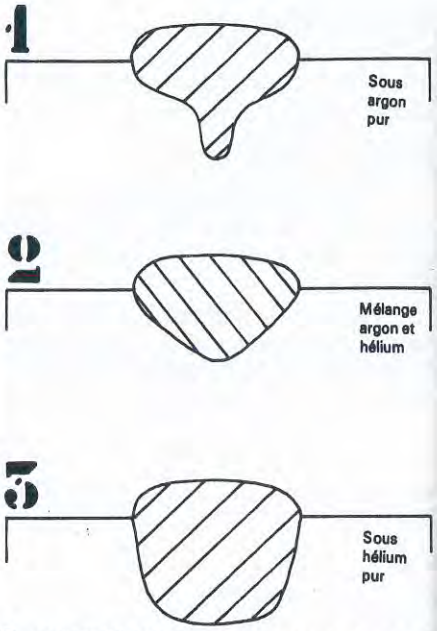
Elle provient d'un groupe à souder de type redresseur ou rotatif. Sa caractéristique dans la plage d'utilisation est très importante. Les réactions de la génératrice aux variations du régime de soudage ont en effet une influence directe sur la stabilité de l'arc ! Le fil est dévidé par le dévidoir. Sa vitesse de fusion est égale à sa vitesse de dévidage. Un raccourcissement de l'arc s'accompagne d'une baisse de tension. Cette baisse augmente l'intensité et la vitesse de fusion. Ceci rallonge l'arc à sa position initiale. Et inversement. On augmente l'intensité en « *donnant* » du fil. On la diminue en « *reprenant* » du fil ou en le « *diminuant* ».

Dévidoir de fil :

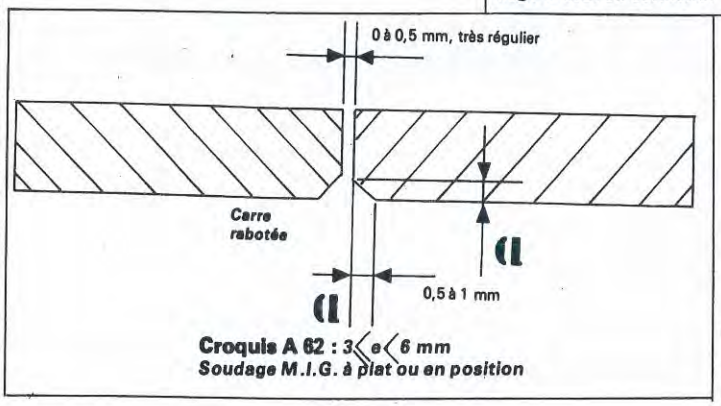
La vitesse de déroulement du fil est fonction de la vitesse de soudage. Elle est réglable. Elle doit être d'une parfaite régularité.



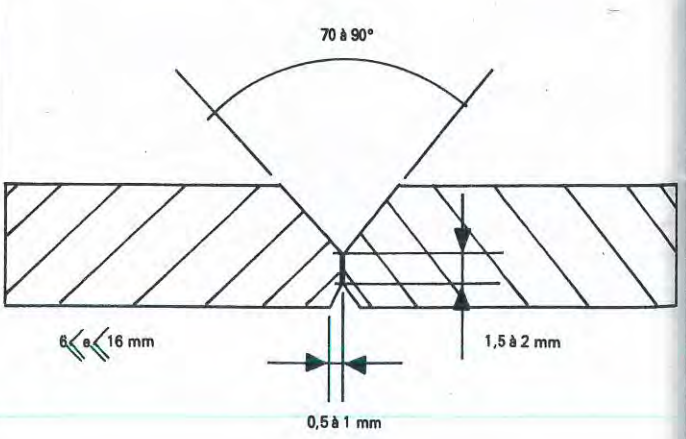
Croquis A 63 : ***Tôles de plus de 6 mm. Soudage M.I.G. en corniche.***

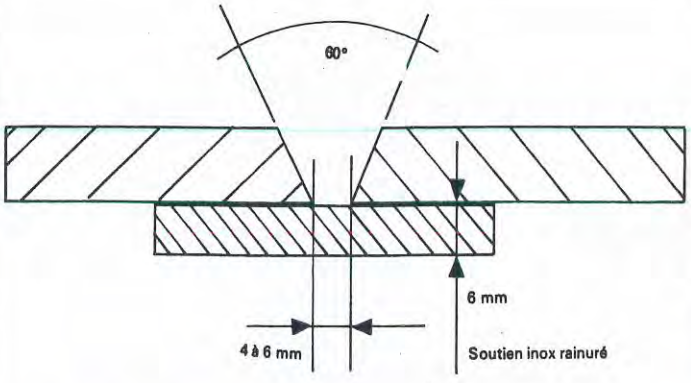


Croquis A 66 : ***Influence du gaz protecteur sur la concentration d'énergie et la pénétration en soudage M.I.G.***

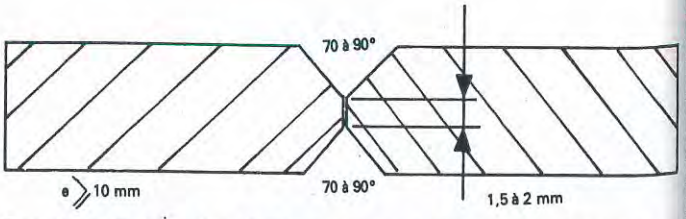


Croquis A 62 : $3 < e < 6$ ***mm***
Soudage M.I.G. à plat ou en position





Croquis A 65 : ***Soudage M.I.G. de tôles d'épaisseur supérieure à 5 mm sur soutien en inox rainuré.***



Croquis A 64 : ***Soudage M.I.G. avec chanfrein en V et en X, pour fortes épaisseurs.***

La plupart des appareils sont équipés de bobines de 5 kg de fil. Le fil passe du touret sur lequel est placée la bobine, dans une gaine, vers le pistolet.

Fil poussé :

A la sortie de la bobine un moteur-réducteur muni de deux galets pousse le fil vers la gaine flexible puis vers le pistolet. Ce système ne s'applique bien qu'aux épaisseurs à souder de plus de 6 mm car le principe de fil poussé pour être régulier, nécessite un diamètre de fil déjà assez fort.

Fil tiré :

Cette fois, les galets d'entraînement se situent dans le pistolet de soudage ainsi que le moteur qui met les galets en mouvement. Le fil sort de la bobine, passe dans la gaine flexible et est tiré par les galets.

Le fil tiré peut être plus fin que le fil poussé. Il s'applique donc à des épaisseurs de tôles plus minces. Le pistolet est un peu plus encombrant.

Il existe aussi des pistolets avec une réserve de 500 g de fil incorporé derrière la crosse du pistolet. Le fil y est tiré. Ces pistolets servent aux soudages de tôles fines et aux réparations.

Push-pull :

Il existe des ensembles dévidoir-gaine-pistolet dotés de deux moteurs couplés et qui doivent être rigoureusement synchrones. Le moteur du dévidoir est électrique, il pousse le fil vers la gaine flexible. Au sortir de la gaine, le fil passe par deux autres galets mus à l'air comprimé ou électriquement qui le tirent. Le fil est donc poussé et tiré. Ce système est le plus sérieux et donne le flux de régularité au soudage. A ce système, peut être combiné un système dit pulsé. La protection gazeuse y est supérieure.

En construction navale où l'aluminium est très vivement critiqué à mots couverts, on remarque beaucoup de fautes qui en général font partie des défauts de soudage et de leurs causes citées précédemment : fautes de choix d'alliage, désharmonie d'alliages dans un bateau ; erreurs de soudage, oxydations, collages, inclusions ; chauffes, recuits et écrouissages intempestifs ; accumulations de contraintes internes ; erreurs électrochimiques génératrices de corrosion galvanique ; défauts de mise en tension des tôles ; appareils de soudage non adaptés ; épaisseurs de tôles non adaptées ; soudages en plein air, etc... Un système d'entraînement du fil non adapté à l'épaisseur des tôles travaillées est une source d'erreurs parmi d'autres.

Pour la plupart, ces erreurs, seules ou combinées, apparaissent comme mystérieuses au public ou à la presse car elles ne peuvent être clairement analysées que par des spécialistes, rares ! Elles n'ont rien de mystérieux !

A la fin de cet ouvrage je reviendrai sur le rôle du Centre technique de l'aluminium qui entame en 1982-1983 une vaste campagne d'information des professionnels. En effet, ce n'est pas le matériau qui est à incriminer mais sa mise en œuvre ! On a assisté au même phénomène pour tous les matériaux. Le **bois** de mauvaise qualité, les **colles** mal choisies, les **polyesters** mal imprégnés, **l'acier** mal peint, le **ferro-ciment, etc...**

Pistolet de soudage

Le pistolet, quel que soit le mode d'entraînement du fil, guide d'électrode-fil. Un tube de contact en cuivre amène le courant au fil électrode. Une buse à l'extrémité du pistolet guide l'écoulement de la protection gazeuse autour du fil en fusion. Souvent un circuit d'eau refroidit le pistolet. Une seconde gaine flexible amène le gaz inerte, l'eau de refroidissement et le courant de soudage.

L'électrode

C'est donc un fil enroulé en une bobine, placée dans l'appareil dévidoir. Les bobines sont de 500 g ou de 5 kg en général. Elles doivent être exemptes de salissures, d'humidité et d'oxydations. Elles doivent être protégées des chocs.

Les alliages des fils sont fort nombreux. On trouve par exemple l'aluminium A5 et les alliages A.G5 (5336) et AS 12. Des diamètres courants sont 1,2, 1,6 et 2,4 mm, ainsi que 0,8 et 1 mm. Au soudage, on note une déperdition allant jusqu'à 1 % de magnésium. On choisit donc un fil d'une teneur en magnésium plus riche que les tôles à souder. Les traitements de ces fils sont effectués par le fournisseur et doivent être l'objet de beaucoup de soin. La qualité de la soudure en dépend.

Le gaz protecteur :

On emploie soit de l'argon, soit de l'hélium, soit un mélange des deux. Selon le gaz choisi la pénétration s'en ressent. Mélangé à l'argon dans une proportion de 30 à 70 % l'hélium apporte un supplément de tension à l'arc de 40 %, d'où une meilleure pénétration. Il diminue aussi les porosités. Le mélange argon-hélium est proposé en bouteilles bien adaptées au soudage MIG.

Cependant pour des motifs économiques respectables, l'hélium reste le gaz le plus souvent employé.

METHODE DE SOUDAGE M.I.G.

Les surfaces à souder doivent être exemptes de traces d'oxydation, graisse, humidité et salissures. De plus, le fil électrode doit être en parfait état : pas de coupures, ni torsions, ni souillures, ni oxydations.

Souvent il existe pour un même alliage deux qualités de fil : pour soudures performantes et pour soudage courant... je n'ai pas besoin de vous dire de quel côté il faut porter son choix malgré la différence des prix proposés !

Attention à la condensation sur les bobines entamées. Le stockage des bobines doit être fait en un endroit sec et aéré, sous un linge sec. *(Croquis A 56 à A 66).*

PREPARATION DES BORDS

Soudage bord à bord de 2,5 à 7 mm :

En position, pour des tôles de moins de 5 mm d'épaisseur on utilise des fils fins : 0,8 mm. Au-dessus de 5 mm on utilise des fils de 1 ou 1,2 mm.

Les tôles sont espacées d'une fois leur épaisseur. Si on ajoute une bande de soutien sous la soudure, cette bande qui ne doit pas dépasser 6 mm sera de 1 mm supérieure à l'épaisseur des tôles à souder.

A plat, on utilise des fils de 1,2 mm pour des tôles de moins de 5 mm, et 1,6 mm pour des tôles de plus de 5 mm. (Soudage bord à bord à plat).

Au-dessus de 5 mm : On chanfreine les bords des tôles en V pour former un angle de 60 °. La distance entre les pieds des deux demi-V varie de 4 à 6 mm. On soude avec du fil de 1,6 mm à plat et 1,2 mm en position. Ceci avec une bande de soutien de 6 mm.

Sans bande de soutien : Il faut prendre soin de casser l'arête inférieure des tôles comme cela a déjà été décrit plus haut. Pour des tôles de moins de 4 mm, on utilise des fils de 1,2 mm à plat et 0,8 en position. Au-dessus de 4 mm, on passe à 1,6 mm à plat.

Tôles de plus de 10 mm : On chanfreine en V ou en X dissymétrique, les arêtes inférieures étant rabotées. Le chanfrein supérieur est un angle qui varie de 70 à 90°, avec un bord droit de 1,5 à 2 mm.

On peut aussi chanfreiner en U pour les tôles très épaisses, de plus de 16 mm.

QUELQUES DEFAUTS DE SOUDAGE MIG

INCLUSIONS GAZEUSES

En acier, les inclusions gazeuses sont peu nombreuses du fait de l'homogénéité du bain. En procédé TIG, le soudage est lent et préservé d'une partie de ces inclusions. Reste le soudage MIG où, hélas, ces inclusions peuvent être nombreuses et de différentes sources. L'intérieur des inclusions est noirâtre.

Bulles d'hydrogène : Elles proviennent de dépôts gras ou humides sur le

métal de base ou le métal d'apport ainsi que d'une mauvaise finition des rives. Le fil d'apport doit être très sec.

Bulles d'argon et d'air : C'est la vitesse soudage qui est en cause, car le procédé MIG peut être rapide. Il ne faut pas exagérer dans cette possibilité de vitesse et savoir se limiter ! Elles proviennent d'une irrégularité de débit d'argon, d'irrégularité d'avance du fil qui par lui-même, provoque un arc irrégulier.

L'intérieur des cavités est brillant, à la différence des cavités laissées par les bulles d'hydrogène.

Autres inclusions

On peut rencontrer des inclusions d'oxyde de l'aluminium et de ses composants, de carbone suite au brûlage d'un corps étranger, de cuivre... Ces inclusions ne sont pas trop dangereuses sauf si, arrivant en surface, elles sont l'amorçage d'une corrosion par différence de potentiel de dissolution. Cette zone devient alors anode par rapport au reste du métal, et peut se corroder vite. Autre danger, la formation d'un dépôt acide qui ronge le métal sous l'alumine.

Fusion insuffisante

Elle est due à une intensité de soudage insuffisamment élevée. On en déduit un manque de fusion des bords, une pénétration insuffisante, une oxydation de surface. L'alumine des bords du joint peut aussi ne pas avoir été fondue. Son point de fusion est voisin de 2.000° C, alors que celui de l'aluminium est de 658 à 660° C. Si le bain n'est pas assez chaud, il reste séparé du métal de base par le film d'alumine et le soudage n'existe pas ! On n'a qu'un collage qui ne durera pas et créera une ouverture du joint.

Fissures longitudinales

Elles proviennent d'un bain de fusion à température trop élevée ou d'un refroidissement trop rapide du bain par rapport aux rives. Les contraintes du refroidissement fissurent le cordon près de ses bords, le long du métal de base. Une mauvaise protection gazeuse peut aussi créer de telles fissures, une interruption trop rapide du cordon, un mauvais départ du cordon. Ceci a déjà été cité plus haut.

Fissures transversales

De fines fissures transversales et un aspect gris terne persistant sont des signes d'un cordon fragilisé par des contraintes de chauffe du cordon. Par exemple, après le chauffage d'une passe sur les passes précédentes. Il faut meuler le métal d'apport et recommencer cette zone.

Forme du cordon

Les dimensions du cordon sont normalisées par rapport à son support. On trouve dans les dessins de soudures la liste des défauts rencontrés. On note des cordons trop bombés, effondrés, insuffisants, avec des caniveaux latéraux, des bourrelets...

Conséquences

Il va de soi que tout défaut dans une soudure, toute hétérogénéité en affaiblit la résistance dans des proportions, heureusement variables.

Au centre du métal, elles réduisent la résistance à la traction. En surface, elles peuvent être la cause déclenchante d'une forme de corrosion. A noter qu'un certain pourcentage de porosités est admis pour l'aluminium comme pour l'acier. On raille souvent ceux qui disent que la peinture est un bon moyen de parfaire l'étanchéité d'un cordon présentant des porosités. C'est vrai que c'est ennuyeux comme démarche dans la mesure où, on peut ne pas peindre l'aluminium ! Par contre, il ne viendrait à l'idée de personne de ne pas peindre l'acier. Aussi, ce qui est justifiable pour l'acier, peut ne pas l'être pour l'aluminium. Mais un chantier qui saurait devoir peindre un bateau pourrait avoir raison de tenir ce raisonnement, quoi qu'on en pense !

Soudure et fatigabilité

Une soudure bien faite recuit le métal. La mise en forme d'une tôle l'écrouit. Le recuit adoucit le métal, alors que l'écrouissage le durcit. Un mauvais soudage, trop chauffé, voisinant une zone fortement écrouie peut amener à une fissuration de la limite entre la zone soudée et le métal de base. Plus le cordon sera anormal, plus il y a de risques d'hétérogénéité cristalline dans cette zone frontière, et plus les ruptures à la fatigue sont un risque important.

LE CONTROLE DES SOUDURES

De façon à vérifier l'étanchéité et la qualité des soudures, leur homogénéité, on met en œuvre un certain nombre de techniques de contrôles. Le choix de ces techniques est proportionnel au budget de l'ouvrage à contrôler. Il dépend aussi de divers caractères de facilité de mise en œuvre, d'accès aux faces à contrôler, de dimensions des pièces, un bateau ne se manipulant pas comme une réalisation soudée.

Je ne vais pas redétailler chacune de ces méthodes et vous invite à consulter ce chapitre traité dans l'étude du soudage des aciers. En voici simplement la liste et le processus.

- Contrôle visuel à l'œil, par l'observation en éclairage rasant ou frontal. Cette technique est nécessaire tout au long du travail de soudage.
- Ressuage avec un produit mouillant passé d'un côté et un produit absorbant de l'autre pour vérifier les porosités traversantes. On passe le produit mouillant, puis le produit absorbant après séchage du premier. C'est le procédé le plus courant et le plus facile à mettre en œuvre.
- Rayons X, rayons Alpha, rayons Gamma.

Trois méthodes réservées aux spécialistes.

- Ultra-sons par propagation de vibrations et visualisation de l'écho.
- Magnétoscope par mise en champ magnétique de la soudure et visualisation des courants magnétiques.
- **Extensiométrie** : test d'étirement de l'ensemble soudé ou d'échantillons.

Des tests destructifs peuvent aussi être appliqués sur des échantillons. Des déformations à froid mettront en valeur la qualité du joint soudé.

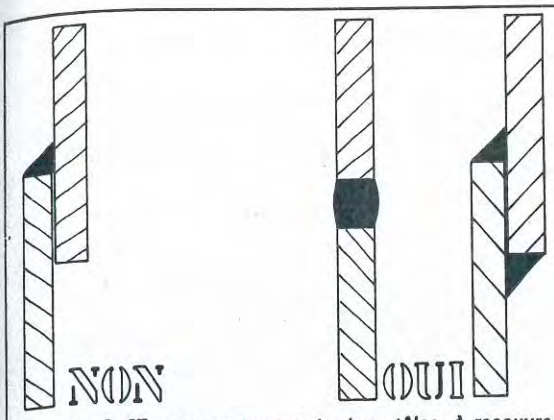
- Essais de traction sur éprouvettes.
- Essais de pliage parallèle et perpendiculaire au joint soudé. Le chantier bien outillé effectuera ces essais sur une presse plieuse. L'amateur pliera le métal, pincé dans un étau, en le martelant au maillet.

La qualité d'une soudure dépend tout naturellement du soin qu'on y a apporté. Le contrôle optique pendant le travail est de la plus grande importance. L'opérateur doit observer du plus près possible la couleur et l'aspect du bain de fusion. La couleur surtout, lui indiquera la bonne température, la bonne position de la torche, la bonne intensité de soudage. L'éventail des couleurs s'apprend sur le tas. Un stage de soudure à l'I.F.T.A. est nécessaire pour l'apprenti soudeur et même pour les soudeurs confirmés qui ont toujours travaillé l'acier, mais pas l'aluminium. Il y a un monde entre ces deux métaux, quant à leur soudage !

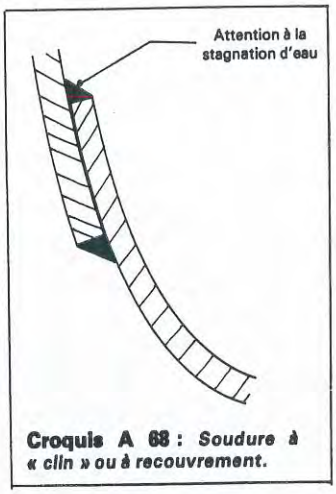
L'acier « *parle* ». Un « *collage* » sur acier se voit très bien. Un « *collage* » sur l'aluminium peut passer inaperçu ! Et les collages sont une des grandes causes des nombreux naufrages enregistrés, depuis que des bateaux de plaisance en aluminium naviguent.

Statistiquement, considérant l'ensemble des naufrages de bateaux de plaisance, et hormis les naufrages pour collision avec un bateau, un objet flottant ou une côte, c'est l'aluminium qui en proportion est le plus touché. Il y a fort à parier que la soudure est une cause majeure des naufrages de bateaux en aluminium. Près de 40 % de ces naufrages concernent des bateaux en aluminium, alors que ce matériau ne représente que 2 ou 3 % du marché !

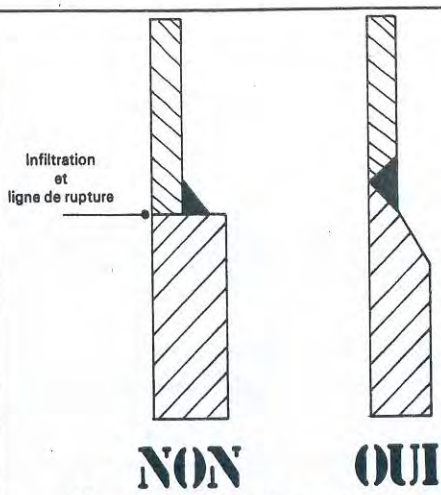
Une soudure sur l'aluminium doit être plus soignée que toute autre. Elle doit être arasée, contrôlée et re-écrouie par martelage au maillet, ce qui est une façon de lui redonner ses caractéristiques d'origine et de l'araser. Un cordon saillant est une amorce de faiblesse ! Alors qu'en



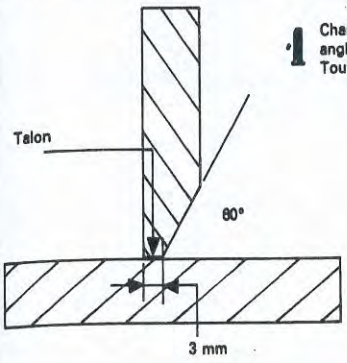
Croquis A 67 : *Raccordement de deux tôles, à recouvrement ou à clin, ou bout à bout.*

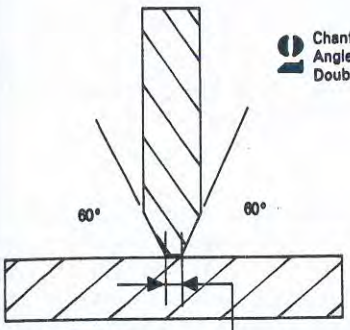


Croquis A 68 : *Soudure à « clin » ou à recouvrement.*

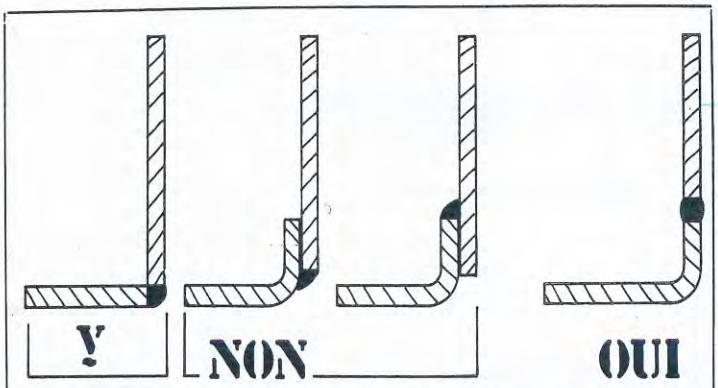


Croquis A 69 : *Soudage bout à bout d'une tôle épaisse et d'une tôle mince. La tôle épaisse est « délardée ».*

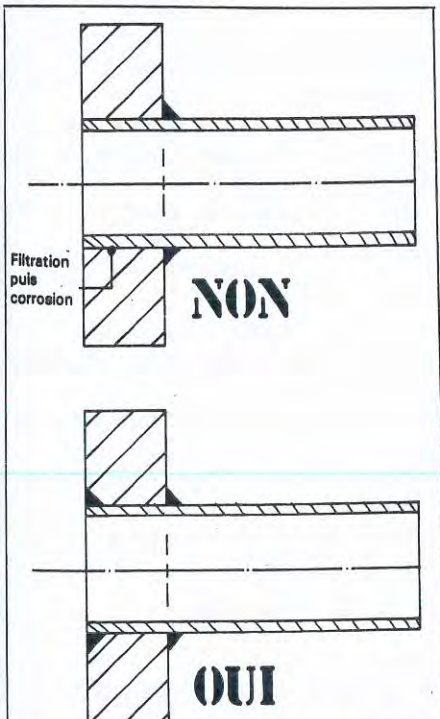




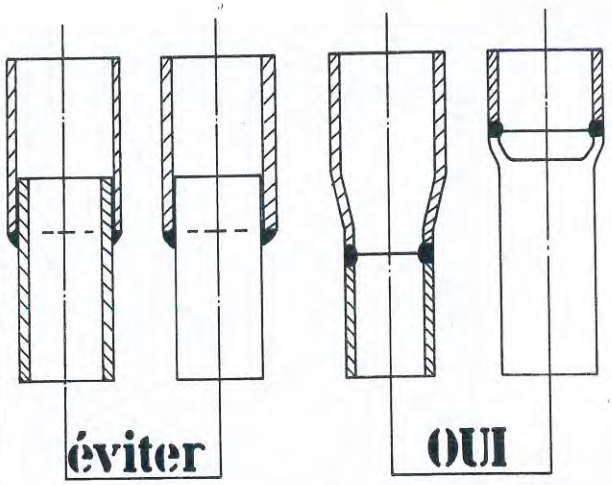
Croquis A 70 :



Croquis A 71 : *Soudure en angle ou raccordement avec une tôle pliée (fond de cockpit par exemple).*

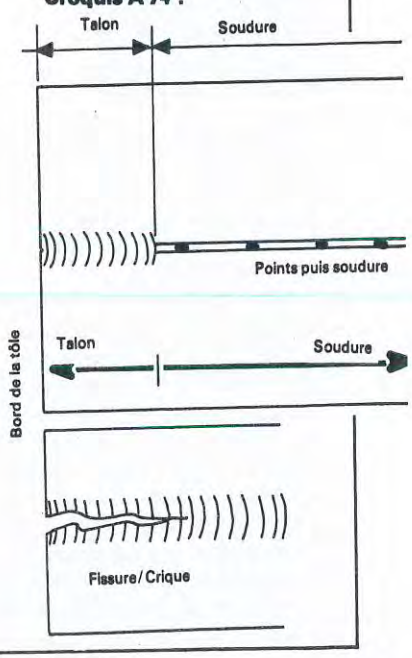


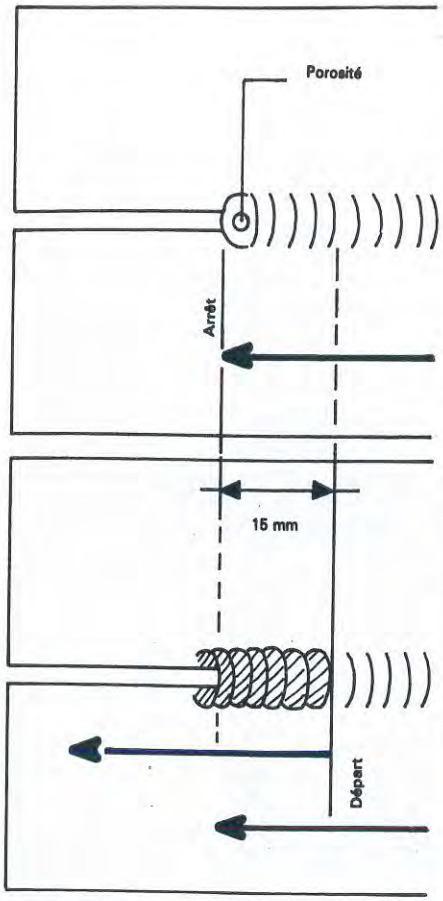
Croquis A 72 : *Raccordement d'un tube sur une tôle épaisse.*



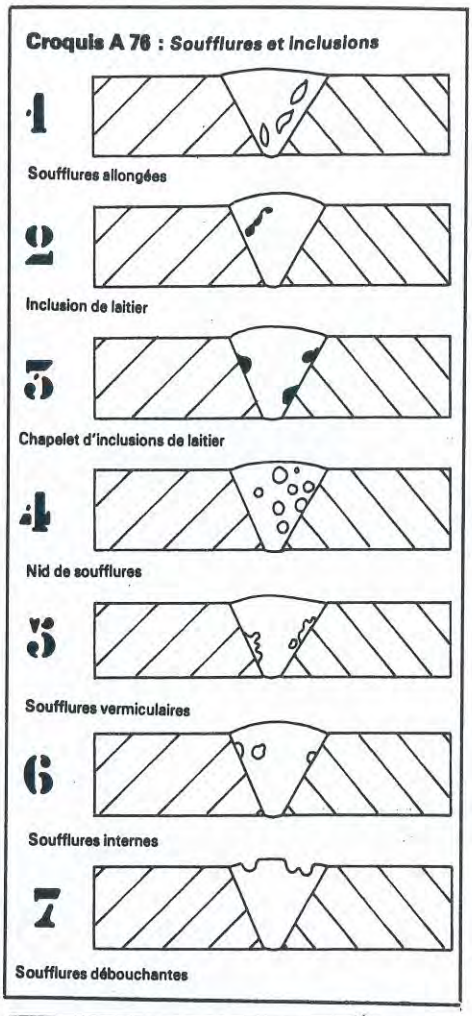
Croquis A 73 : *Raccordement de deux tubes ou d'un tube et d'une barre ronde.*

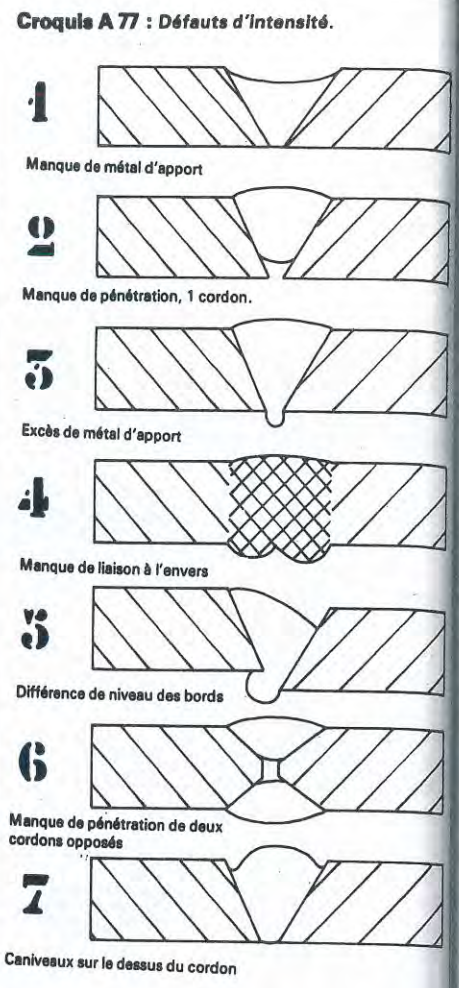
Croquis A 74 :

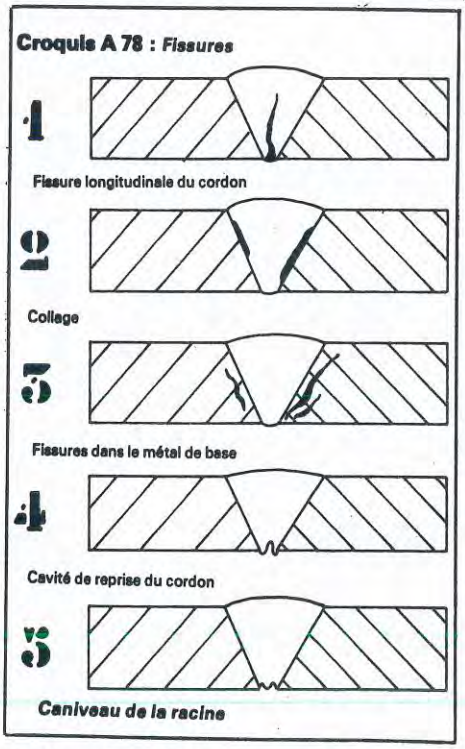




Croquis A 75 : *Recouvrement d'une fin de cordon après une interruption du soudage.*







acier ce n'est qu'une amorce de coulée de rouille !

L'œil et la main ! Les deux atouts du bon soudeur ! *(Croquis A 67 à A 78).*

LE SOUDAGE DES ALLIAGES D'ALUMINIUM AU MAGNESIUM ET MANGANESE : DIFFERENTES METHODES MODERNES

Point capital de l'étude des alliages d'aluminium que celui-là ! Et plus globalement toutes les techniques d'assemblage des aluminiums entre eux ou avec d'autres métaux. Assemblages homogènes et hétérogènes.

Pour garder une certaine clarté à cet ouvrage qui se situe à mi-chemin entre le manuel de technique pure et le livre de vulgarisation, je n'étudierai que les techniques s'appliquant aux alliages de fonderie ou corroyés utilisés en construction navale, globalement des A.G4 MC, ASG, et autres alliages au magnésium, manganèse et silicium. **Je n'étudierai que les techniques industrielles et artisanales compatibles avec la construction navale dont la particularité est de traiter des pièces de grande dimension** : tôles sur tôles, tubes et profilés sur tôles, alliages de fonderie sur tôles (de pont), etc... et de travailler en petites quantités, voire à l'unité. Les meilleurs cas de construction navale en aluminium n'étant même pas de un bateau par semaine, il n'y a pas deux assemblages rigoureusement identiques par semaine. Or, l'industrie présente des cas de traitement automatisés de centaines de pièces par jour ! Inutile dans ce cas d'encombrer ce livre de techniques spatiales ou industrielles inapplicables au bateau ! Le cas échéant, Loisirs Nautiques a cette grande possibilité, par ses numéros mensuels, d'actualiser les techniques et de traiter des techniques de pointe dans l'hypothèse où, un jour, elles peuvent s'adapter à tel ou tel secteur de la construction navale.

Pour mémoire, ces méthodes sophistiquées seront cependant citées avec leur champ d'application.

Nous analyserons ainsi ou citerons :

- Le soudage homogène oxyacétylénique.
- Le soudage à arc sous gaz inerte.
- Les soudages hétérogènes, brasage, soudo-brasage.
- Le soudage sous flux électroconducteur.
- Les soudages par faisceau d'électrons, au laser, au plasma.
- Les soudages par friction mécanique, explosion, pression.
- Le magnéto-soudage.
- Les soudages par ultra-sons, par diffusion.
- Les soudages par résistance et à haute fréquence.

Soit une vingtaine de méthodes dont bien peu sont à la portée des chantiers navals.

SOUDAGE VERTICAL SOUS FLUX ELECTROCONDUCTEUR

Deux pièces sont à assembler par leurs bords verticaux. Le bord des pièces est fondu dans un bain de flux par effet Joule. Le courant électrique arrive au centre du bain par un fil guidé dans un tube qui est consommé comme le fil au fur et à mesure de la montée du bain. Le bain (liquide) est contenu entre les pièces par deux patins qui montent. Bien sûr, pour que le bain reste contenu entre les pièces et les patins sans s'écouler par le dessus, il faut que l'ensemble soit peu incliné par rapport à la verticale. Voyez le croquis illustrant cette méthode. La vitesse de soudage est de 0,10 m par minute avec une intensité de 1.600 à 1.800 ampères et sous une tension de 25 volts pour une épaisseur de 4 cm !

Ce procédé convient à l'assemblage de tôles très épaisses, en soudures verticales (montantes bien sûr !) ; le matériel est peu coûteux ; flux et fil de gros diamètre, donc relativement peu élaborés, sont bon marché. La vitesse pour des tôles de 40 mm d'épaisseur est dix fois plus rapide que celle du procédé MIG et passe à soixante fois pour des tôles de 12 cm d'épaisseur ! Procédé peu courant puisque spécifique à la position verticale et aux très fortes épaisseurs.

FAISCEAU D'ELECTRONS

Un « canon » projette un faisceau d'électrons sur les bords des pièces à souder. L'énergie cinétique du bombardement d'électrons met en mouvement les atomes du bord des pièces qui fond par l'échauffement interne. L'ensemble est mis en œuvre dans des machines à vide total ou partiel, ou sous atmosphère. Des ventouses glissant contre les pièces à assembler permettent de suivre n'importe quel contour. Cette méthode sophistiquée permet de souder des tubes.

Des vitesses de 1 à 3 mètres par minute sont réalisées pour des pièces minces (quelques millimètres). Cette technique pourrait convenir pour souder les bordés et ponts de bateaux, elle convient très bien à l'A.G. 4MC et à l'A.SGM état 16 (mâts). Elle convient aussi à l'alliage de fonderie A.G 6.

LASER

D'abord utilisé pour le soudage de très petites pièces d'horlogerie ou mécanique de précision, le laser permet maintenant de souder des pièces de dimensions courantes. La brillance de l'aluminium renvoie une partie du rayonnement et nuit un peu à son efficacité. La vitesse de soudage est assez grande mais les autres paramètres sont contraignants.

PLASMA

Un décapage électrique précède l'attaque du faisceau d'électrons. Le travail se faisant en polarité directe (plus à la source et moins au métal) le décapage n'était pas possible pour le flux d'électrons lui-même. Ce travail, qui convient plutôt mal à l'aluminium, se fait avec ou sans métal d'apport. Avec métal d'apport les épaisseurs traitées sont les mêmes qu'en TIG. Cette méthode convient à des soudures manuelles de haute difficulté, en position délicate.

Ces procédés étaient à « *fusion permanente* » comme le sont les procédés oxyacétyléniques et à arc TIG et MIG. Les procédés suivants sont « *mécaniques* ». **D'abord avec action d'un courant électrique** : Par résistance et à Haute fréquence. Procédés automatiques ou semi-automatiques de soudage par points par étincelage, soudage de goujons, soudage à la molette.

Procédés utilisés surtout par des fabricants de demi-produits tels que des tubes et divers profils. Un décapage précède le soudage. Puis des procédés sans apport de courant électrique :

FRICTION

Le frottement des pièces sous pression produit une friction qui mène à la fusion partielle du métal ou « *fluage* ». Une pièce est mise en rotation rapide sur l'autre qui reste fixe. Quand le métal est à sa phase de forgeage la rotation est arrêtée, la pression des pièces l'une sur l'autre augmentée et l'assemblage opéré par « *forgeage* ». Ce que montre le dessin concernant un procédé relativement simple réalisé sur des pièces voisines des tours. On assemble ainsi des profilés bout à bout avec une bonne qualité mécanique de l'assemblage. On assemble ainsi un tube à une pièce de forte épaisseur remplaçant le Dudgeonnage. Surtout ce procédé permet de « *souder* » alu, et acier inoxydable, alu et cuivre et d'autres assemblages hétérogènes avec d'excellentes caractéristiques mécaniques de traction et flexion, de l'ensemble : tubes, barres rondes, l'un sur l'autre, les deux sur pièces épaisses...

EXPLOSION

L'énergie de l'explosion également utilisée pour former des métaux de tôles, permet de fabriquer des feuilles, bandes, plaques d'alu sur lui-même ou sur d'autres métaux.

La « *collision* » des deux métaux produit une pression très grande entre les pièces et les soude ou les colle. Cette technique délicate à exploiter à cause du bruit et des risques permet le placage d'alu sur un autre métal, l'emmanchement d'un tube...

PRESSION

Une interpénétration atomique lie deux pièces fortement pressées l'une contre l'autre. Une très grande propreté des faces assemblées est nécessaire ainsi qu'une régularité parfaite. Alors le soudage est excellent et très analogue à ce qu'on obtient par explosion. Une plasticité du métal de surface est obtenue qui lie les pièces par une structure granulaire continue. On soude ainsi bout à bout des barres pleines (la pression provoque un bourrelet), des barres sur des pièces épaisses, etc...

L'ensemble est réalisé à froid à des pressions de l'ordre de 6 à 30 kilos par mm². Un assemblage rapide est préférable à une application progressive et lente. La pression écrouit le métal qui doit ensuite être recuit. Les assemblages hétérogènes sont possibles. L'industrie automobile utilise ce procédé et ses variantes : encagement de goujons, circuit intégré...

MAGNETO-SOUDAGE

Dans le soudage par explosion les pièces en collision s'assemblent par interpénétration atomique. Le même effet est produit par le magnéto-soudage qui utilise la force de répulsion qui s'exerce entre les courants induits dans une des pièces de l'assemblage et le courant inducteur qui circule dans une bobine qui entoure ladite pièce. Voyez la coupe de ce montage. Ce procédé est commode pour les assemblages hétérogènes alu et acier ou alu et cuivre. Il permet une cadence de production semi-industrielle qui n'est pas possible par la méthode de l'explosion.

ULTRA-SONS

Ce procédé convient parfaitement aux assemblages alu sur alu et alu un autre métal. Un transducteur convertit l'énergie Haute Fréquence en une énergie vibratoire exercée parallèlement au plan de soudage. Une pression est exercée en même temps. Aucune électricité ne parcourt les pièces métalliques qui ne sont pas échauffées. La zone de fusion n'est pas visible par métallographie. Les pièces sont assemblées par porosité de l'une à l'autre ou par intermétallisation : composition cristalline intermétallique. Les épaisseurs soudables atteignent 2 à 3 mm selon les alliages. La puissance nécessaire varie de 100 à 4.000 watts. La fréquence varie de 10 à 60 kilocycles. Champ d'application : Aérospatiale avec l'assemblage d'alliages non soudables ; industrie électrique : plats de contact en argent soudés sur des supports en alu ; transistors ; emballages en feuilles minces d'aluminium.

DIFFUSION

Autre procédé d'assemblages homogènes ou hétérogènes. C'est un procédé à chaud. On élève la température de deux pièces qu'on presse l'une contre l'autre. Progressivement, les atomes de l'une s'approchent des atomes de l'autre et se

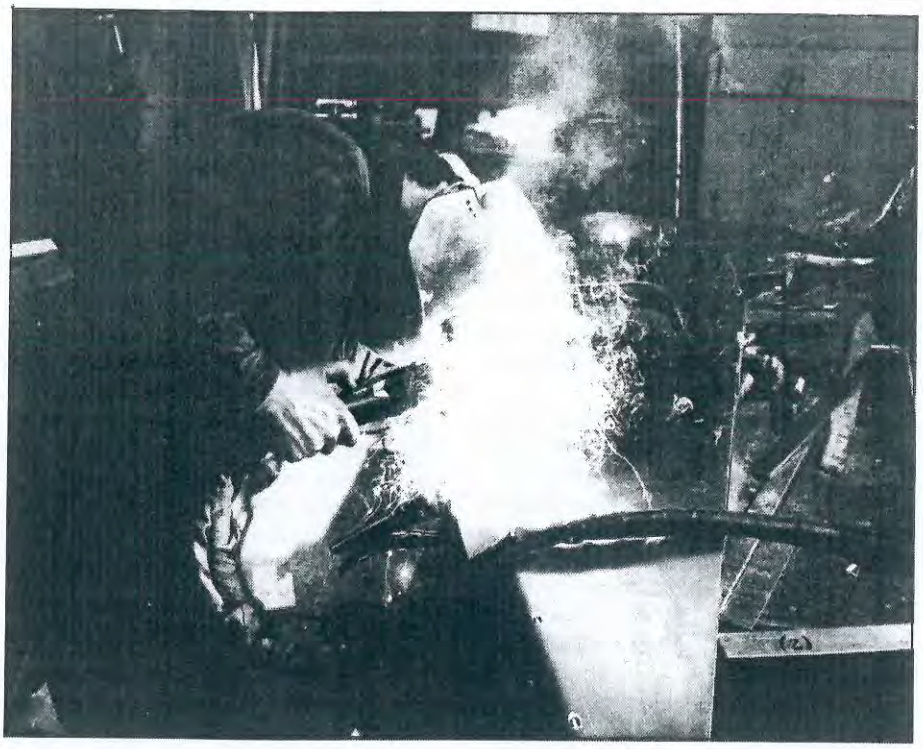


Photo A 31 : *Soudage M.I.G.*

captent réciproquement assurant une parfaite continuité cristalline.

L'étude par les schémas joints de la coupe de l'assemblage montre la fusion cristalline à diverses étapes de la soudure.

Ce bref tableau des méthodes modernes d'assemblages homogènes et hétérogènes montre la variété des possibilités. Nous n'en garderons la trace que pour mémoire.

Ceci clôt l'étude des procédés de soudage utilisés par les constructeurs navals et les éléments de choix de l'une ou l'autre de ces méthodes.

Le soudage lui-même n'est pas différent de celui de l'acier et sera étudié plus en détail dans le manuel de construction en acier.

Par contre, j'ai insisté sur les particularités du soudage des alliages d'aluminium et des précautions qui lui sont spécifiques. *(Photos A 23 à A 31. Croquis A 79 à A 87).*

16

ALLIAGES LES PLUS COURANTS EN CONSTRUCTION NAVALE DE PLAISANCE

Tous les alliages ne peuvent convenir à la construction navale. Les alliages utilisés possèdent des caractéristiques permettant leur mise en forme, leur soudage, et la résistance à la corrosion par l'eau de mer.

Les alliages au magnésium des séries 5000 et 6000 sont les plus utilisés.

SERIE 5000

Ils sont surtout choisis pour leur résistance à la corrosion marine.

Ceux qui possèdent de 2,5 à 5 % de magnésium sont les plus souvent choisis.

La soudabilité devient mauvaise dans les basses teneurs en magnésium. Dans les hautes teneurs elles sont moins résistantes à la corrosion.

Pour améliorer la résistance à la corrosion des alliages au-dessus de l'AG4 MC (5086) qui ne sont pas recuits, ils doivent faire l'objet de traitements qui améliorent leur tenue à la corrosion marine. C'est le cas de l'AG 4,5 (5083).

Dans le passé, on utilisait surtout l'AG3 (ou AG3 M) appelé 5754. Maintenant, on utilise plutôt l'AG4 MC (5086) ainsi que l'AG 4,5 M (5083).

Ce sont des alliages sans durcissement structural. Pour augmenter leurs caractéristiques mécaniques, ils sont écrouis à froid par laminage ou étirage, etc. Au cours de leur mise en forme, ils sont à nouveau écrouis par le cintrage, martelage, étirement sur la forme, etc. Plus la teneur en magnésium est grande, moins l'alliage supporte bien le formage. L'AG 4,5 MC le supporte moins que l'AG 4 MC.

Par contre, un état recuit de ces alliages H 111 améliore leur aptitude au formage. C'est l'état le plus souvent utilisé.

Le chantier *Huisman* utilise l'état H 321 qui a la particularité de devoir être peint pour résister à la corrosion marine. Cet état supporte mieux la déformation. Les alliages de la série 5000 se soudent en TIG comme en MIG.

La valeur de la charge à la rupture de la zone soudée montre une perte de 10 % par rapport à celle du métal plus éloigné. Ces alliages sont livrés en profilés et tôles.

SERIE 6000

Ce sont des alliages à durcissement structural, trempants. Leur traitement de base, mise en solution à haute température puis trempe, est complété par un vieillissement à 20° C (trempé mûri) ou à 150° C ou 180° C (trempé revenu). Les alliages 600 contiennent du magnésium et du silicium qui forment le composant « *Mg2 Si* » qui participe au durcissement. L'état le plus souvent rencontré est l'état T6 (trempé, revenu) et parfois l'état T5.

Les alliages les plus utilisés sont 6060, 6106, 600 5A, 6061 et 6082. Surtout 6060 et 6061. L'aptitude au formage est limitée en état T6.

Ces alliages se soudent en TIG et en MIG. La perte des caractéristiques mécaniques est importante dans la zone du soudage. La charge de rupture baisse de 40 %. La tenue de ces alliages en eau de mer est excellente. Ces alliages sont livrés en profilés et tubes.

BORDES

Pour les tôles de bordés, on utilise :

- l'AG 3 (5754) était utilisé dans le passé ;
- l'AG 5 fut rarement utilisé aussi ;
- l'AG 4 MC (5086) dans les états H 111 recuit, doux, et H 24, dur ;
- l'AG 4,5 M (5083) dans les états H 111 ou H 24.

PROFILES

Pour les profilés en L, T, U et plats de la structure, on choisit :

- l'AG S (6060)
- les 6061 et 6082, ainsi que les 6106 et 6005 A ;
- l'AG 4 MC (5086).

MECHES DE GOUVERNAILS

On choisit l'AG 5 ou l'AG 3.

FONDERIE

On rencontre l'AG 3 T, l'AS 2 GT et maintenant surtout l'AG 6 pour les hélices, capots de pont, etc.

MÂTS, BOMES, TANGONS

Lorsqu'ils sont filés, on trouve l'ASGM état T6 (6081 ou 6082).

Lorsqu'ils sont construits à partir de tôles roulées, on rencontre l'AG 4 MC.

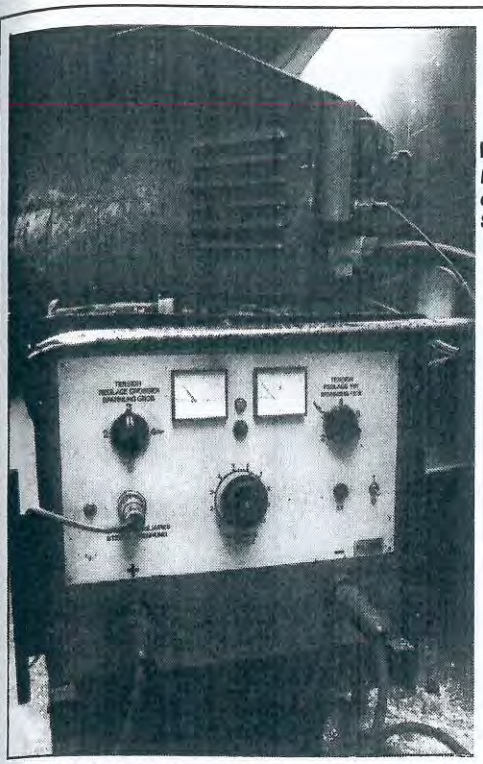


Photo A 23 : *Poste pour soudage M.I.G. (Photo Somédy)*

Photo A 25 : ▶
Dévideur de fil de soudage M.I.G. - Chantier Somédy.

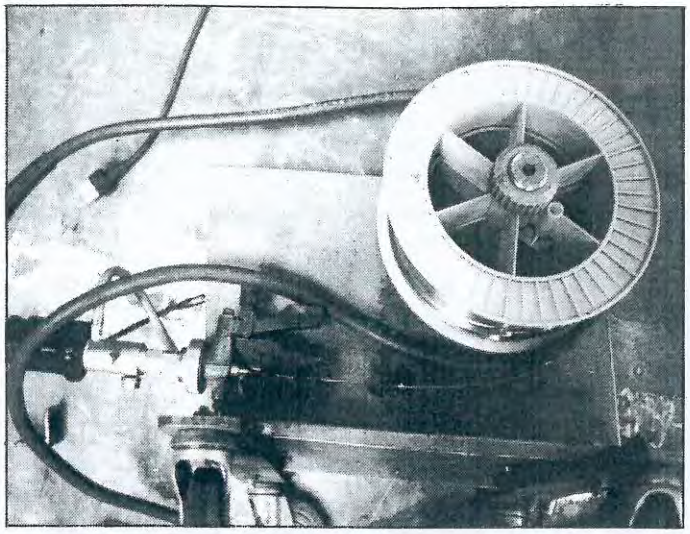


Photo A 27 : ▶
Points de soudure.

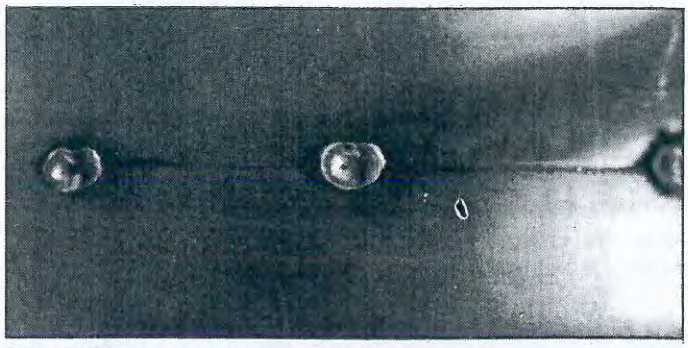
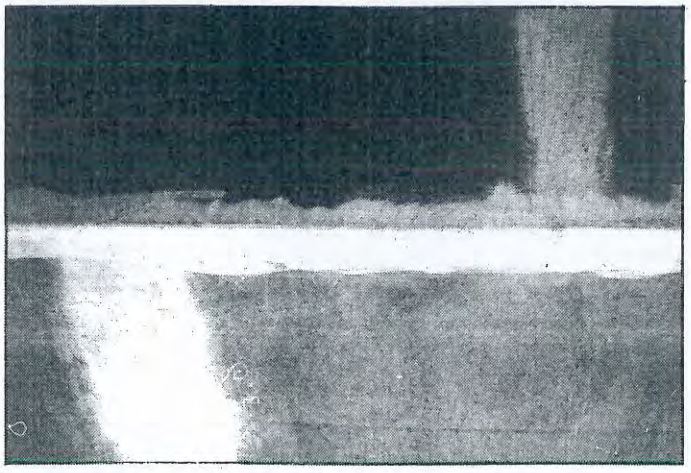


Photo A 30 : *Soudure meulée chantier Meta.*



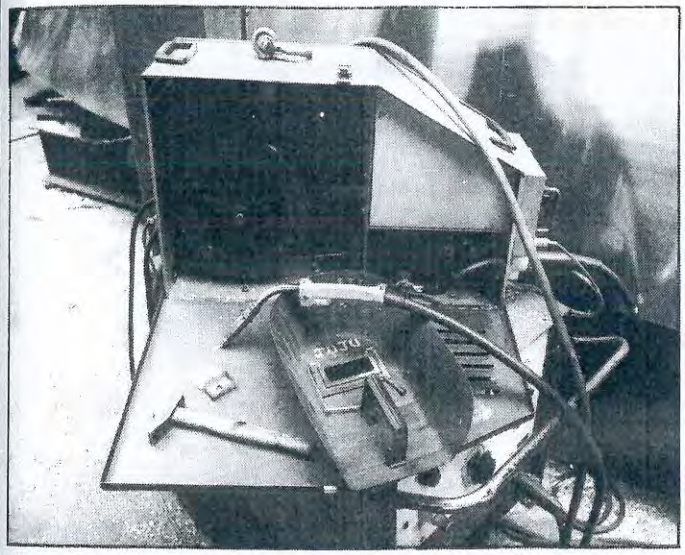


Photo A 24 : *Ensemble de soudage M.I.G., dévidoir, torche, masque.*

Photo A 26 : *Torche pour soudage M.I.G.*

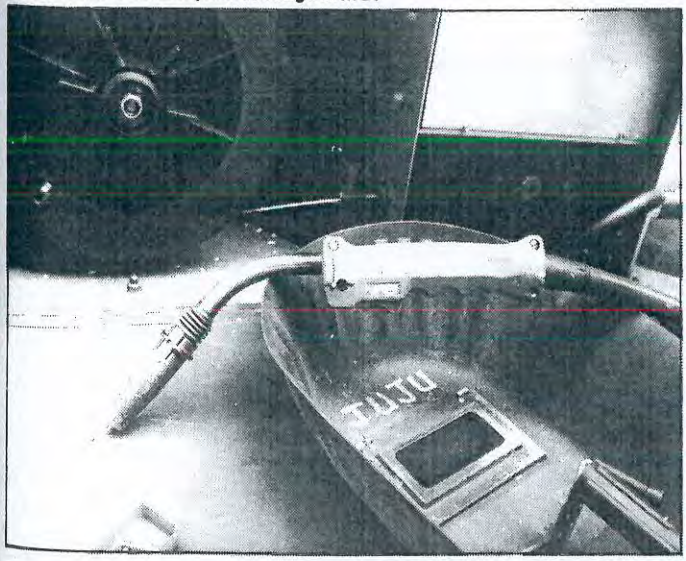


Photo A 29 : *Assemblages soudés sur un mât Nirvana.*

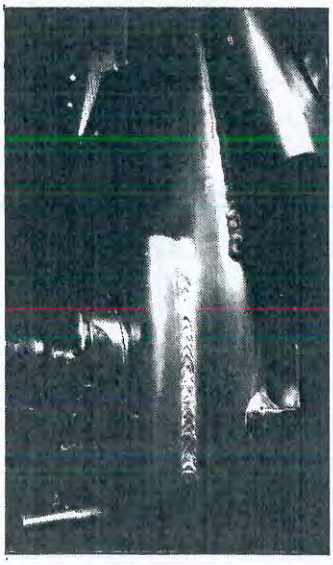


Photo A 28 : *Talon avant soudage au chantier Somédy*



CARACTERISTIQUES A TEMPERATURE AMBIANTE DES ALLIAGES LES PLUS COURANTS EN CONSTRUCTION

Aluminium Alliages	Traitement de base	Etat métallurgique	Caractéristiques en traction			Module d'élasticité N/mm² (1)	Cisaille en N/mm² (1)	Dureté Brinell Bille 10 mm charge 1.000 mm tous produits confondus
			Rm N/mm² (1)	Rp 0,2 N/mm² (1)	A 5,65 %			
5083	recuit	0	300	140	18	71.000	180	68
5086	recuit	0	270	120	22	71.000	160	63
5754	recuit	0	220	100	23	71.000	130	50
	demi-dur	H.34	270	190	10	—	150	68
6060	trempé revenu	T.5	220	170	14	69.000	140	65
6106	trempé revenu	T.5	255	230	12	69.000	165	75
6005 A	trempé revenu	T.5	290	270	11	69.000	190	90
6061	trempé revenu	T.6	310	270	13	69.000	200	95
6082	trempé revenu	T.6	320	285	12,5	70.000	205	95

(1) 1 N/mm² = 1 MPa.

SOUDAGE

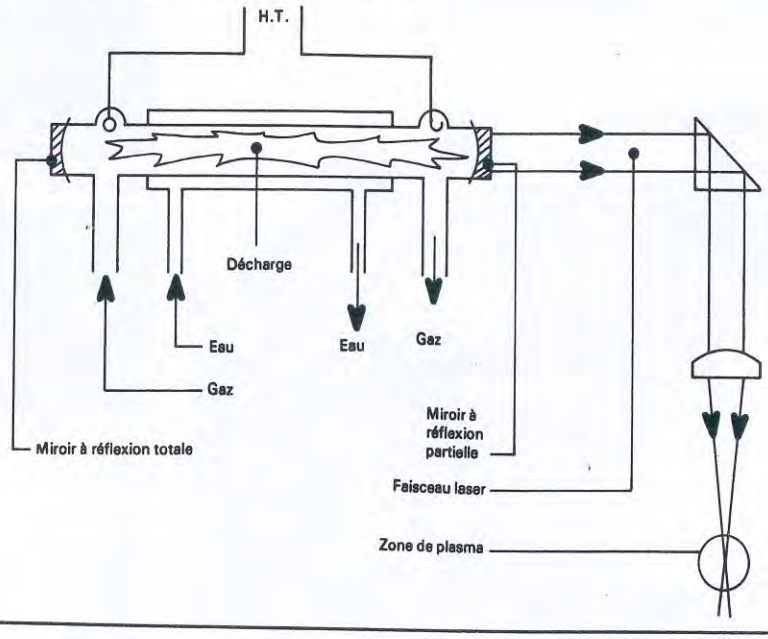
Le soudage de ces alliages se fait avec un fil d'une nuance plus riche en magnésium. En effet, le soudage cause une déperdition en magnésium de l'ordre de 0,5 à 1 %. On soude ainsi les alliages cités plus haut AG 3, AG 4 MC, AG 4,5 MC, AG 5, AGS avec du fil d'AG 4 MC, AG 4,5 MC et surtout AG 5.

Les nuances utilisées en soudage TIG sont l'AG 5 (5356) et l'AS 12.

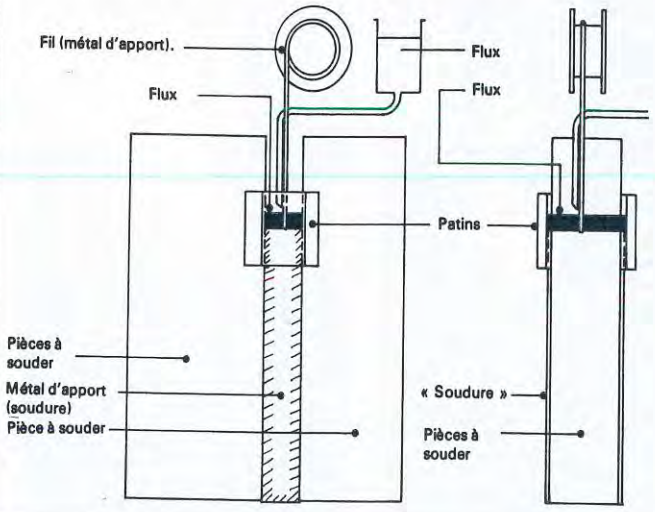
Les nuances utilisées en soudage MIG sont l'AG5 (5356) et l'AS 5.

Voyez les tableaux de cet ouvrage qui vous donnent les caractéristiques mécaniques, physiques et chimiques de ces alliages. Voyez aussi les chapitres sur la corrosion et le soudage. Pour les approvisionnements, voyez les tableaux des caractéristiques dimensionnelles des produits fabriqués dans ces nuances. *(Photo A 32. Croquis A 88).*

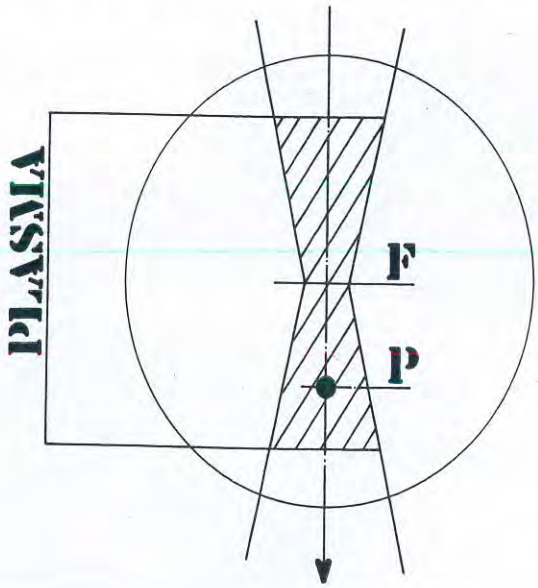
Croquis A 80 : ***Principe du soudage au laser***



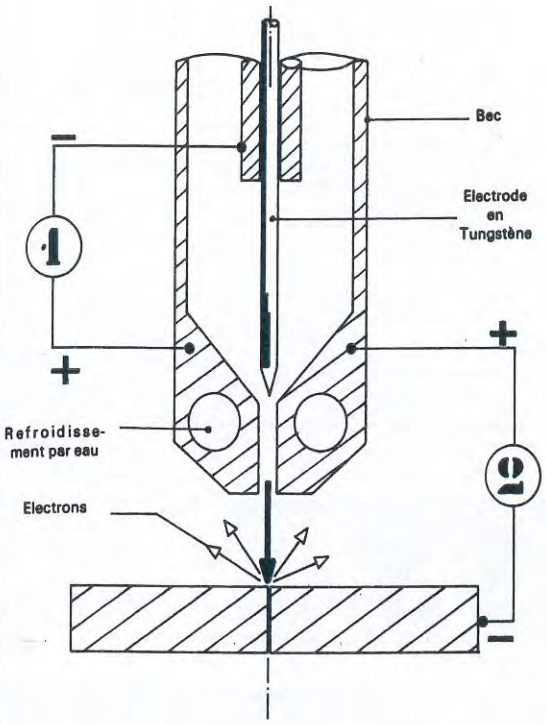
Croquis A 79 : ***Principe du soudage vertical sous flux électroconducteur.***



Croquis A 81 : ***Soudage à laser : zone de plasma (détail).***

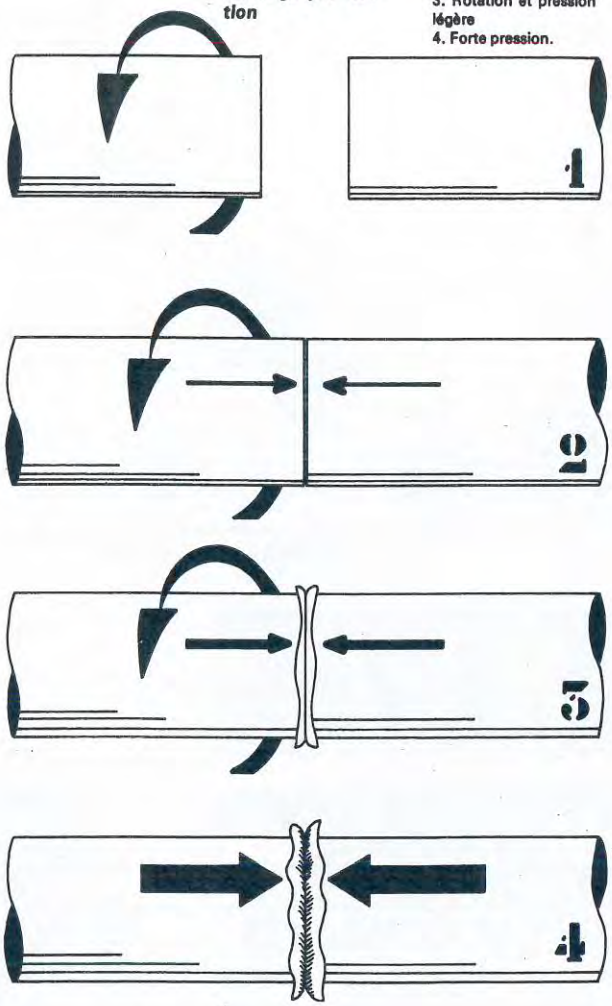


Croquis A 82 : ***Soudage à l'arc Plasma***

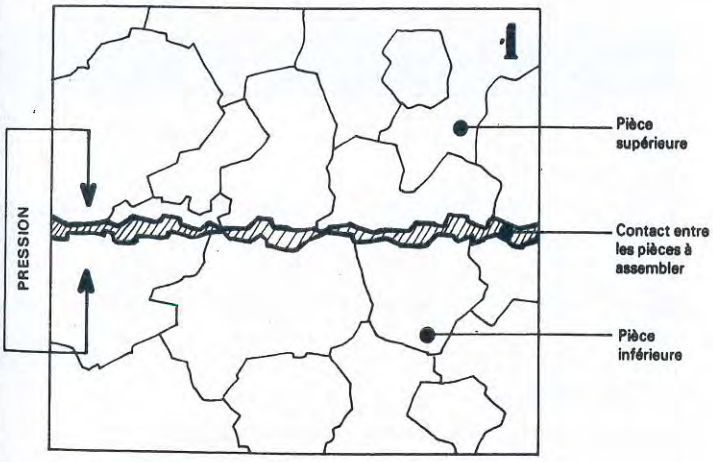


Croquis A 83 : ***Soudage par friction***

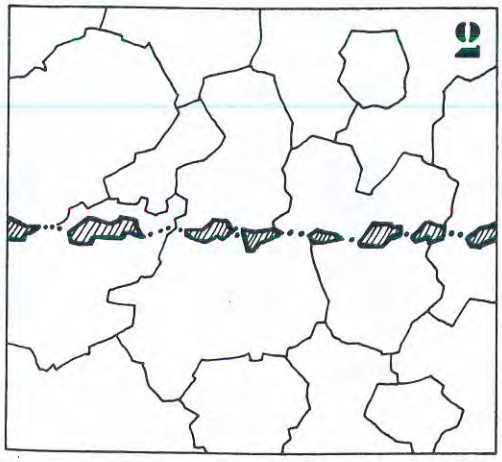
1. Mise en rotation
2. Rotation et contact
3. Rotation et pression légère
4. Forte pression.



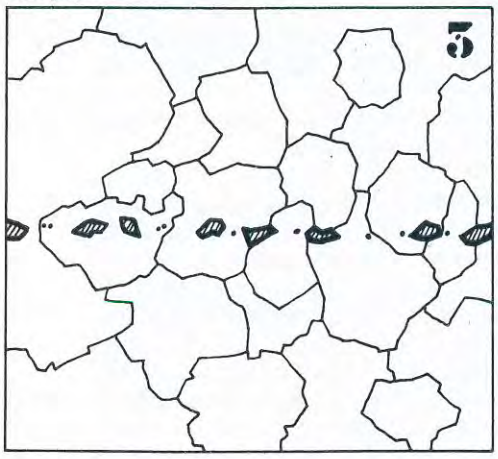
Croquis A 84 : ***Soudage par diffusion (pression)***



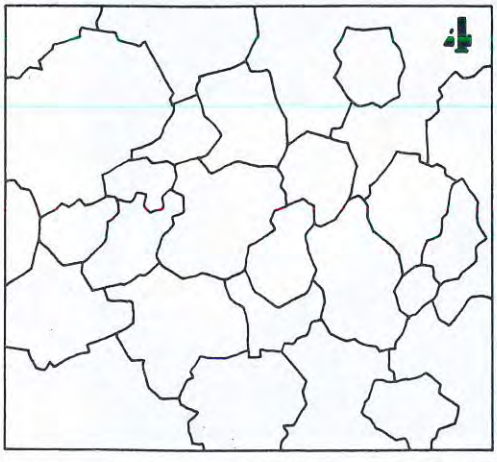
Croquis A 85

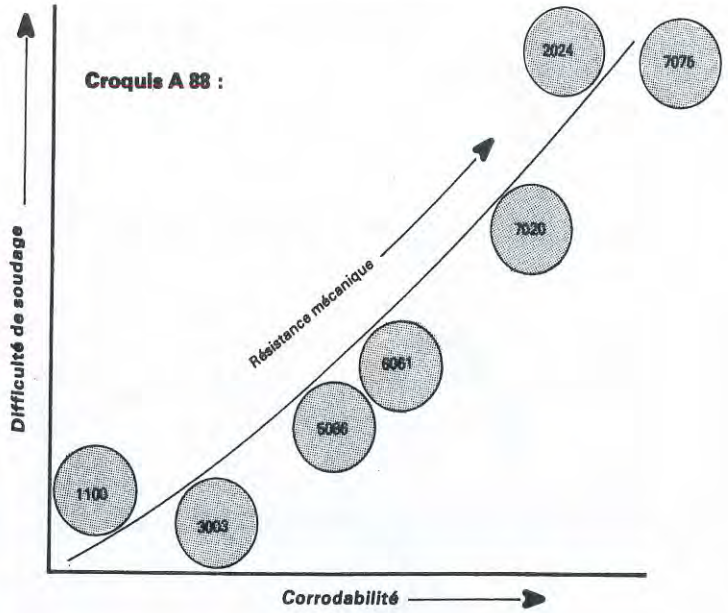


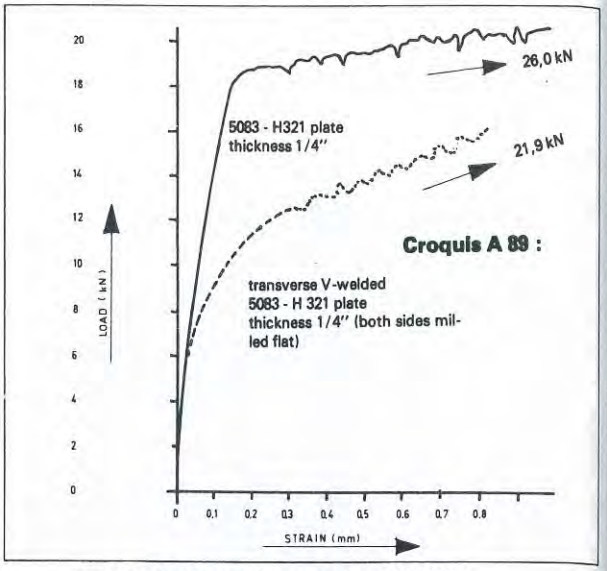
Croquis A 86



Croquis A 87







Load-strain diagram for aluminium 5083-H321

17

CARACTERISTIQUES DES ALLIAGES DE CONSTRUCTION NAVALE COURANTS

Voici les caractéristiques principales des alliages d'aluminium qu'on rencontrera le plus souvent, notamment de l'AG4 MC (5086), AG 4,50 MC (5083), AGS (6060). Les deux premiers rencontrés sous forme de tôles, le troisième sous forme de profilés.

On en déduira les conclusions à retenir sur ces différents alliages.

Par exemple, dans leur état doux, l'AG 4,50 MC sera plus sec, plus raide que l'AG 4 MC, ce qui, dans certains cas sera un atout, dans d'autres une gêne. Il sera, en principe, légèrement plus performant, mais aussi plus délicat à mettre en œuvre. Chacun trouvera dans sa propre réflexion, son propre cas, sa propre expérience, les éléments du choix. *(Photo A 33. Croquis A 89).*



Photo A 32 : ***Le tableau arrière de « Belle Fontaine » (Photo Hupsman-Welleman)***

18

DIMENSIONS DES PRODUITS UTILISES LE PLUS SOUVENT EN CONSTRUCTION NAVALE

Une particularité des alliages d'aluminium, au niveau commercial, est qu'on ne peut se procurer tous les formats et toutes les sections dans toutes les nuances.

Je vous donne ci-après les formats de tôles qu'on peut trouver en stock le plus facilement en AG4MC et AG 4,50 MC, ainsi que les sections du stock de profilés en AG S,(6060).

5754 X (A-G3 M)
ALLIAGE D'ALUMINIUM AU MAGNESIUM

formes commerciales

tôles
barres - fils - tubes - profilés

composition chimique (AFNOR A 50-411 et A 50-451)

		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	chaque autre	total autres	Al
5754 X	mini	—	—	—	0,10	2,6	—	—	—	—	—	le
	maxi	0,40	0,50	0,10	0,50	3,6	0,10	0,20	0,15	0,05	0,15	reste

propriétés physiques

masse spécifique	g/cm³	2,66	conductivité thermique à 20 °C μth cm²/cm. s. °C	0,30
intervalle de fusion	°C	593-645		
coefficient de dilatation linéaire entre 20 et 100 °C	(× 10⁶)	23,5	résistivité électrique μ Ω cm²/cm à 20 °C état O	5,5
module d'élasticité	hbar	7 100	chaleur spécifique entre 0 et 100 °C cal/g. °C	0,23
potentiel de dissolution	V	— 0,85		

aptitudes technologiques

	très bon	bon	acceptable	mauvais ou à éviter
soudage				
à la flamme	■			
à l'arc sous argon (TIG et MIG)	■			
par résistance	■			
par soudo-brasage		■		
emboutissage				
état recuit	■			
état 1/2 dur			■	
repoussage			■	
forgeage-matriçage (450 °C - intervalle 350 à 510 °C)		■		
usinage état 1/2 dur				
fragmentation du copeau			■	
brillance de surface		■		
comportement naturel				
aux agents atmosphériques		■		
en milieu marin		■		
anodisation				
de protection		■		
de décoration		■		

traitements thermiques

recuit
340 à 380 °C 1/2 à 2 heures
refroidissement à l'air

5083 (A-G4,50 MC)
ALLIAGE D'ALUMINIUM AU MAGNESIUM

formes commerciales

tôles
barres - tubes - profilés

composition chimique (AFNOR A 50-411 et A 50-451)

		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	chaque autre	total autres	Al
5083	mini	—	—	—	0,40	4,0	0,05	—	—	—	—	le
	maxi	0,40	0,40	0,10	1,0	4,9	0,25	0,25	0,15	0,05	0,15	reste

propriétés physiques

masse spécifique	g/cm³	2,66	conductivité thermique à 20 °C µth cm²/cm. s. °C	état O	0,28
intervalle de fusion	°C	570-640			
coefficient de dilatation linéaire entre 20 et 100 °C	(× 10⁻⁶)	23,5	résistivité électrique µ Ω cm²/cm à 20 °C	état O	5,9
module d'élasticité	hbar	7 100	chaleur spécifique entre 0 et 100 °C		
potentiel de dissolution	V	— 0,86	cal/g. °C		0,23

aptitudes technologiques

	très bon	bon	acceptable	mauvais ou à éviter
soudage				
à la flamme	■			
à l'arc sous argon (TIG et MIG)	■			
par résistance	■			
par soudo-brasage				□
emboutissage				
état recuit		■		
état 1/2 dur			■	
repoussage		■		
forgeage-matriçage (450 °C - intervalle 350 à 480 °C)		■		
usinage état 1/2 dur				
fragmentation du copeau			■	
brillance de surface			■	
comportement naturel				
aux agents atmosphériques			■	
en milieu marin			■	
anodisation				
de protection				■
de décoration				■

traitements thermiques

recuit
340 à 380 °C 1/2 à 2 heures
refroidissement à l'air

L'AG4,5 MC(5083) est un alliage dont l'aptitude au formage est bonne ; il est nécessaire cependant de respecter certaines limites de rayons de courbure telles qu'indiquées dans le tableau ci-dessous :

— Rayon approximatif pour un pliage à froid à 90° (e = épaisseur)

Etat	Epaisseur				
	3 mm	5 mm	6 mm	9 mm	12 mm
Recuit	1 e	1 e	1 e	1,5 e	1,5 e
Brut de fabrication	2 e	2,5 e	3 e	3,5 e	4 e

TÔLES AG 4MC.
5086 H III RECUIT

1.000 x 2.000 en 4 mm	stock Alcan
1.000 x 2.000 en 3, 4, 5, 6 à 12, etc.	stock Scodal
1.250 x 2.500 en 3, 4, 5, 6 à 12, etc.	stock Scodal
1.500 x 3.000 en 3 à 10	stock Scodal
1.600 x 3.200 en 4	stock Scodal
2.000 x 4.000 en 4	stock Scodal

TÔLES AG 4,5 MC.
5083 H III RECUIT.

1.000 x 2.000 en 3, 4, 5, 6 à 12, etc.	stock Scodal
1.250 x 2.500 en 4	stock Scodal
1.000 x 2.000 en 20	stock Alcan
1.250 x 2.500 en 4 à 10, 20, etc.	stock Alcan
1.500 x 3.000 en 4, 5, 8, 10, 12, etc.	stock Alcan

Naturellement pour des commandes par tonnages suffisants on peut obtenir d'autres formats moins contraignants et notamment des tôles en grande longueur,

5086 (A-G4 MC)
ALLIAGE D'ALUMINIUM AU MAGNESIUM

formes commerciales

tôles
barres - fils - tubes - profilés

composition chimique (AFNOR A 50-411 et A 50-451)

		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	chaque autre	total autres	Al
5086	mini	—	—	—	0,20	3,5	0,05	—	—	—	—	le
	maxi	0,40	0,50	0,10	0,7	4,5	0,25	0,25	0,15	0,05	0,15	reste

propriétés physiques

masse spécifique	g/cm³	2,65	conductivité thermique à 20 °C µth cm²/cm. s. °C	état O	0,30
intervalle de fusion	°C	580-640			
coefficient de dilatation linéaire entre 20 et 100 °C	(× 10⁻⁶)	23,5	résistivité électrique µ Ω cm²/cm à 20 °C	état O	5,5
module d'élasticité	hbar	7 100	chaleur spécifique entre 0 et 100 °C		
potentiel de dissolution	V	— 0,86	cal/g. °C		0,23

aptitudes technologiques

	très bon	bon	acceptable	mauvais ou à éviter
soudage				
à la flamme	■			
à l'arc sous argon (TIG et MIG)	■			
par résistance	■			
par soudo-brasage				□
emboutissage				
état recuit		■		
état 1/2 dur			■	
état 4/4 dur				□
repoussage		■		
forgeage-matriçage (450 °C - intervalle 350 à 480 °C)		■		
usinage état 1/2 dur				
fragmentation du copeau			■	
brillance de surface			■	
comportement naturel				
aux agents atmosphériques			■	
en milieu marin			■	
anodisation				
de protection				■
de décoration				■

traitements thermiques

recuit
340 à 380 °C 1/2 à 2 heures
refroidissement à l'air

6060 (A-GS)
ALLIAGE D'ALUMINIUM AU MAGNESIUM-SILICIUM

formes commerciales

—
barres - fils - tubes - profilés

composition chimique (AFNOR A 50-411)

		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	chaque autre	total autres	Al
6060	mini	0,30	0,10		—	0,35	—	—	—	—	—	le
	maxi	0,6	0,30	0,10	0,10	0,6	0,05	0,15	0,10	0,05	0,15	reste

propriétés physiques

masse spécifique	g/cm³	2,70	conductivité thermique à 20 °C µth cm²/cm. s. °C	état T5	0,48
intervalle de fusion	°C	615-655			
coefficient de dilatation linéaire entre 20 et 100 °C	(× 10⁻⁶)	23,2	résistivité électrique µ Ω cm²/cm à 20 °C	état T5	3,3
module d'élasticité	hbar	6 900	chaleur spécifique entre 0 et 100 °C		
potentiel de dissolution	V	— 0,80	cal/g. °C		0,23

aptitudes technologiques

	très bon	bon	acceptable	mauvais ou à éviter
soudage				
à la flamme	■			
à l'arc sous argon (TIG et MIG)	■			
par résistance	■			
par soudo-brasage	■			
usinage état T6				
fragmentation du copeau			■	
brillance de surface			■	
comportement naturel				
aux agents atmosphériques			■	
en milieu marin			■	
anodisation				
de protection			■	
de décoration			■	

traitements thermiques

recuit
380 à 420 °C 1 à 2 heures
refroidissement lent

trempe
mise en solution 530 °C ± 5
trempe à l'air ou à l'eau

maturation
8 jours

revenu
température 185 °C ± 5 6 heures

6081 (A-SGM0,3)
ALLIAGE D'ALUMINIUM AU MAGNESIUM-SILICIUM

formes commerciales

tôles

—

composition chimique (AFNOR A 50-451)

		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	chaque autre	total autres	Al
6081	mini	0,7	—	—	0,10	0,6	—	—	—	—	—	le
	maxi	1,1	0,50	0,10	0,45	1,0	0,10	0,20	0,15	0,05	0,15	reste

propriétés physiques

masse spécifique	g/cm³	2,71	conductivité thermique à 20 °C µth cm²/cm. s. °C	état T6	0,39
intervalle de fusion	°C	595-645	résistivité électrique		
coefficient de dilatation linéaire entre 20 et 100 °C	(× 10⁻⁶)	24	µΩ cm²/cm à 20 °C	état T6	4,3
module d'élasticité	hbar	7 000	chaleur spécifique entre 0 et 100 °C cal/g. °C		0,23
potentiel de dissolution	V	— 0,83			

aptitudes technologiques

	très bon	bon	acceptable	mauvais ou à éviter
soudage				
à la flamme		■		
à l'arc sous argon (TIG et MIG)		■		
par résistance		■		
par soudo-brasage		■		
emboutissage				
état recuit		■		
état trempé mûri			■	
état trempé revenu				□
repoussage		■		
forgeage-matriçage				
(440 °C - intervalle 320 à 480 °C)		■		
comportement naturel				
aux agents atmosphériques		■		
en milieu marin		■		
anodisation				
de protection		■		
de décoration			■	

traitements thermiques

recuit
380 à 420 °C 1 à 2 heures
refroidissement lent

trempe
mise en solution 540 °C ± 5
trempe à l'eau

maturation
8 jours

revenu
(maturation avant revenu ⩽ 4 heures)

température	165 °C ± 5	16 heures
ou	175 °C ± 5	8 heures

6082 (A-SGM0,7)
ALLIAGE D'ALUMINIUM AU MAGNESIUM-SILICIUM

formes commerciales

—

barres - tubes - profilés

composition chimique (AFNOR A 50-411)

		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	chaque autre	total autres	Al
6082	mini	0,7	—	—	0,40	0,6	—	—	—	—	—	le
	maxi	1,3	0,50	0,10	1,0	1,2	0,25	0,20	0,10	0,05	0,15	reste

propriétés physiques

masse spécifique	g/cm³	2,71	conductivité thermique à 20 °C µth cm²/cm. s. °C	état T6	0,39
intervalle de fusion	°C	585-645	résistivité électrique		
coefficient de dilatation linéaire entre 20 et 100 °C	(× 10⁻⁶)	24	µΩ cm²/cm à 20 °C	état T6	4,3
module d'élasticité	hbar	7 000	chaleur spécifique entre 0 et 100 °C cal/g. °C		0,23
potentiel de dissolution	V	— 0,83			

aptitudes technologiques

	très bon	bon	acceptable	mauvais ou à éviter
soudage				
à la flamme		■		
à l'arc sous argon (TIG et MIG)		■		
par résistance		■		
par soudo-brasage		■		
emboutissage				
état recuit		■		
état trempé mûri			■	
état trempé revenu				□
repoussage		■		
forgeage-matriçage				
(440 °C - intervalle 320 à 480 °C)		■		
usinage état T6				
fragmentation du copeau			■	
brillance de surface			■	
comportement naturel				
aux agents atmosphériques			■	
en milieu marin			■	
anodisation				
de protection			■	
de décoration			■	

traitements thermiques

recuit
380 à 420 °C 1 à 2 heures
refroidissement lent

trempe
mise en solution 540 °C ± 5
trempe à l'eau

maturation
8 jours

revenu
(maturation avant revenu ⩽ 4 heures)

température	165 °C ± 5	16 heures
ou	175 °C ± 5	8 heures

en 4.000, 6.000 et plus. Les nuances les plus utilisées étant l'AG 4 MC et l'AG 4,5 MC dans leurs états. Recuit HIII ou demi-dur H 24. H III pour le bordage est un état écroui par une opération à froid (HI) puis recuit et plané (II). C'est la nuance la moins dure. H 24 est une nuance demi-dure laminée à froid et restaurée.

PROFILES DU STOCK ALCAN

PLATS

30 × 6 à 10
35 × 5
40 × 4 à 10
50 × 4 à 12
60 × 4 à 12
80 × 5 à 10
100 × 5 à 20
125 × 10
150 × 10
200 × 10

T

20 × 20 × 2
25 × 25 × 2,5
30 × 30 × 3
40 × 40 × 3 et 4
50 × 50 × 5

L A AILES EGALES

15 × 15 × 2
20 × 20 × 2 et 3
25 × 25 × 2 à 3
30 × 30 × 3
40 × 40 × 2 à 4
50 × 50 × 2 à 5
60 × 60 × 2 et 6
80 × 80 × 8
100 × 100 × 10

L A AILES INEGALES

20 × 15 × 22
25 × 15 × 2
40 × 25 × 3
40 × 30 × 3
50 × 30 × 3
60 × 30 × 3
60 × 40 × 4
80 × 50 × 5
100 × 50 × 5

U (BASE × HAUTEUR × EPAISSEUR)

12 × 15 × 2
20 × 15 × 2
30 × 30 × 3
40 × 40 × 4
50 × 32 × 3
80 × 40 × 4
100 × 50 × 5

TUBES RONDS

30,40 et 50 × 2
60 × 5
82 × 5
100 × 5

Il existe aussi des tubes carrés et rectangulaires, et des barres rondes en AG 3M et AG S en diamètres de 30 à 100.

FILS A SOUDER ALCAN

Pour soudage TIG
5.356 (AG S) de 1,6 à 6,3 mm
AS 12 de 1,6 à 6,3
Pour soudage MIG
5.356 (AG S) de 0,8 à 2,4 mm
AS S de 0,8 à 2,4

TOUS LES MOIS DANS LOISIRS NAUTIQUES mensuel : des techniques nouvelles, des bricolages, des récits de croisière tourdumondiste, des nouveautés. ABONNEZ-VOUS. Voir bon fin de ce numéro.

POIDS DES TOLES, BANDES FILS, RONDS, CARRES ET SIX PANS

Coefficients pour le calcul des poids				
	A4, A5 A8, A9 A-M1G A-G06 A-G1 A-GS A-SG	A-G2 A-G3 A-G4 A-G4MC A-G5	A-U2G A-Z3G2	A-U4G A-U4G1 A-U4Pb A-U4NT A-U4SG A-Z5G A-Z5GU A-Z8GU
Feuilles kg/m²	2,7 × e	2,65 × e	2,75 × e	2,8 × e
Barres, fils g/m	2,12 × d²	2,08 × d²	2,16 × d²	2,20 × d²
Barres carrées g/m	2,7 × d²	2,65 × d²	2,75 × d²	2,8 × d²
Barres hexag. g/m	2,34 × d²	2,30 × d²	2,38 × d²	2,42 × d²
Tubes kg/m	$\frac{e \times (d-e)}{118}$	$\frac{e \times (d-e)}{120}$	$\frac{e \times (d-e)}{116}$	$\frac{e \times (d-e)}{114}$
Disque g/unité	$\frac{e \times d^2}{472}$	$\frac{e \times d^2}{480}$	$\frac{e \times d^2}{464}$	$\frac{e \times d^2}{456}$

e = épaisseur en mm.

d = diamètre extérieur en mm des fils, barres, tubes et disques.

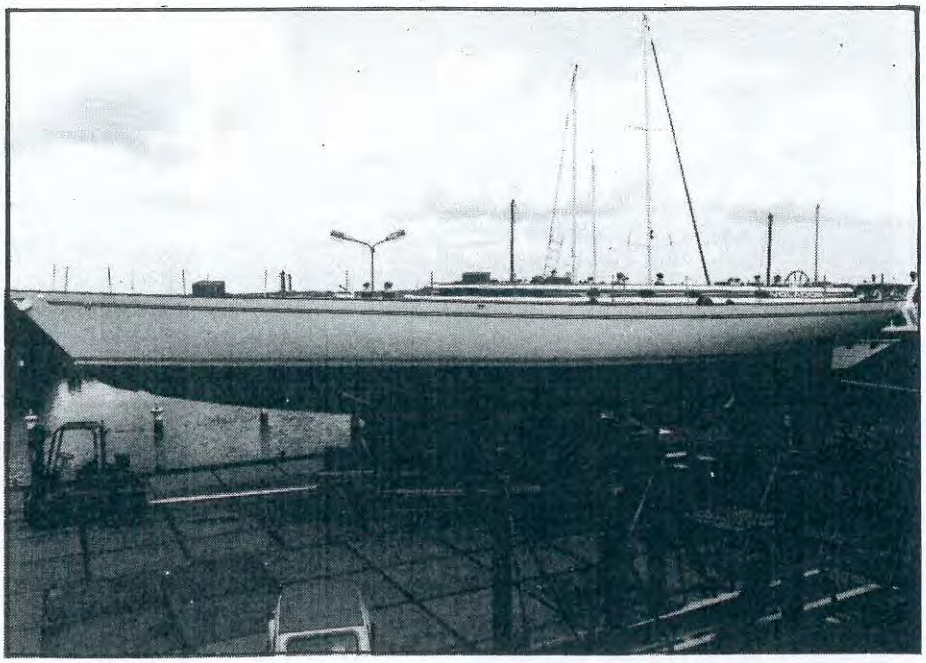


Photo A 33 : *Volador 81' (photo Huisman)*

LA COMPATIBILITE ENTRE LA COQUE EN ALUMINIUM ET LES EQUIPEMENTS FAITS D'UN AUTRE METAL

Ce chapitre est à rapprocher de celui qui traite de la compatibilité de l'acier avec les autres matériaux. Je ne m'étends donc pas à nouveau sur les principes que

Poids approximatif des tubes circulaires en aluminium en kg par mètre.

Diamètre extérieur mm	Epaisseur mm											
	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	1
10	0,062	0,076	0,090	0,114	0,136							
12	0,076	0,093	0,110	0,141	0,170							
14	0,090	0,110	0,130	0,168	0,204							
16	0,103	0,127	0,151	0,195	0,238	0,286						
18	0,117	0,144	0,171	0,223	0,271	0,329						
20	0,130	0,161	0,191	0,250	0,305	0,371	0,433					
22	0,144	0,178	0,212	0,277	0,339	0,414	0,483					
25	0,164	0,204	0,242	0,318	0,390	0,477	0,560					
28	0,185	0,229	0,273	0,358	0,441	0,541	0,636					
32	0,212	0,263	0,314	0,413	0,509	0,626	0,738	0,950				
36	0,239	0,297	0,354	0,458	0,577	0,710	0,840	1,086				
40	0,266	0,331	0,395	0,521	0,645	0,795	0,942	1,221	1,484			
45	.....	0,373	0,446	0,589	0,729	0,901	1,069	1,391	1,696			
50	.....	0,416	0,497	0,657	0,814	1,007	1,196	1,561	1,909			
56	.....	0,467	0,558	0,738	0,916	1,135	1,349	1,764	2,163			
63	.....	.....	0,638	0,833	1,035	1,283	1,527	2,002	2,460	2,901		
70	.....	.....	.....	0,928	1,154	1,431	1,705	2,239	2,757	3,257		
80	.....	.....	.....	1,064	1,323	1,643	1,959	2,579	3,181	3,766	4,886	
90	.....	.....	.....	.....	1,493	1,856	2,214	2,918	3,605	4,275	5,564	
100	.....	.....	.....	.....	1,663	2,068	2,468	3,257	4,029	4,784	6,243	7,634
110	.....	.....	.....	.....	.....	2,280	2,723	3,597	4,453	5,293	6,922	8,482
125	.....	.....	.....	.....	.....	2,598	3,105	4,105	5,089	6,056	7,939	9,755
140	.....	.....	.....	.....	.....	2,916	3,486	4,614	5,726	6,820	8,957	11,027
160	.....	.....	.....	.....	.....	.....	3,995	5,293	6,574	7,838	10,315	12,723

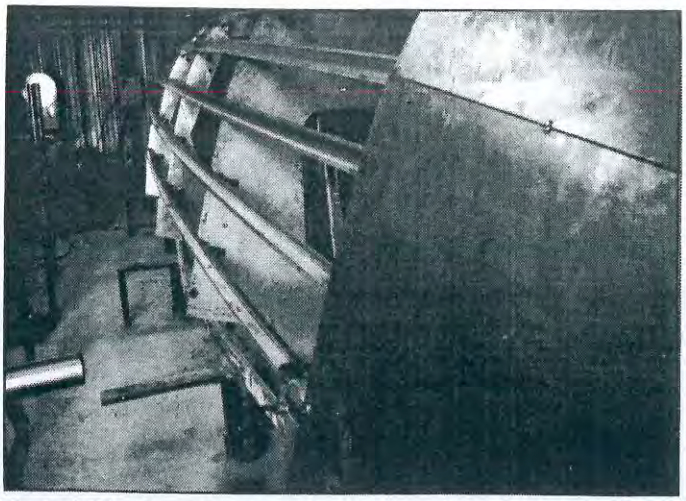


Photo A 34 : *Début de bordage et pointage sur lisses. Notez le faux couple en bois qui aide à faire filer les lisses.*

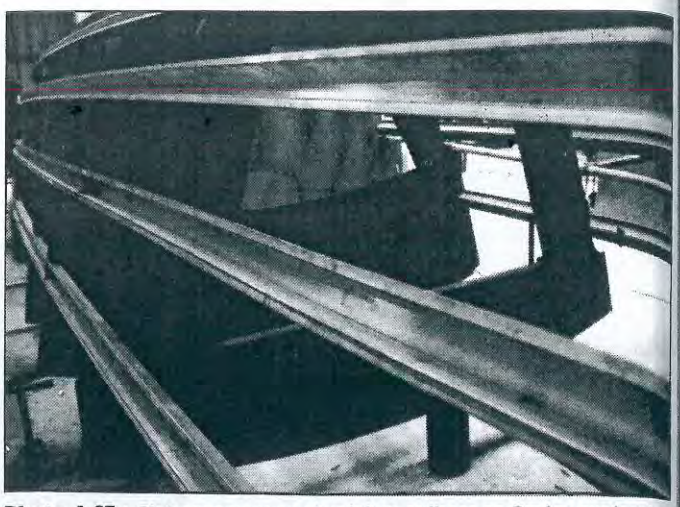


Photo A 35 : *Cloisonnement en aluminium et lisses en Oméga sur le trimaran « Petit Requin » de Michel Ralys.*

je vous conseille de chercher dans le chapitre sur l'acier. Voici directement les précautions à prendre pour éviter l'électrolyse entre une coque et un pont en aluminium et des équipements.

Sur le pont, qu'il vaut mieux peindre car ni un antidérapant peint, ni un antidérapant collé ne tiendront directement *« sur l'alumine »*, on peut boulonner directement toute pièce en aluminium de fonderie : pied de mât, capot, winch, guindeau. D'autant plus qu'ils sont à peu près toujours peints ou anodisés. Il faut bourrer de joint étanche les trous où vous mettez les boulons en inox. La visserie en aluminium étant hors de prix. on utilise la visserie en inox, passivée bien sûr, très peu réactive par rapport à l'aluminium.

Balcons et chandeliers sont montés dans des embases munies de rondelles ou de manchons en matériau synthétique.

La mèche de gouvernail à laquelle est soudé le safran doit être en aluminium A. G 3, A. G 4 MC, A. G 5. Par contre notamment sur un dériveur, une mèche en inox peut être montée lorsqu'un safran sur le tableau arrière, ainsi que la coque, possèdent tous deux des fémelots. La mèche joue le rôle d'aiguillot *en continu* et passe dans des bagues synthétiques emmanchées dans tous les fémelots.

L'arbre d'hélice doit être monté isolé avec un accouplement synthétique, un presse-étoupe flottant et une bague hydrolube synthétique. Il peut alors être en inox. Dans ce cas, l'hélice sera en aluminium. **Surtout pas une gamme de bronze !**

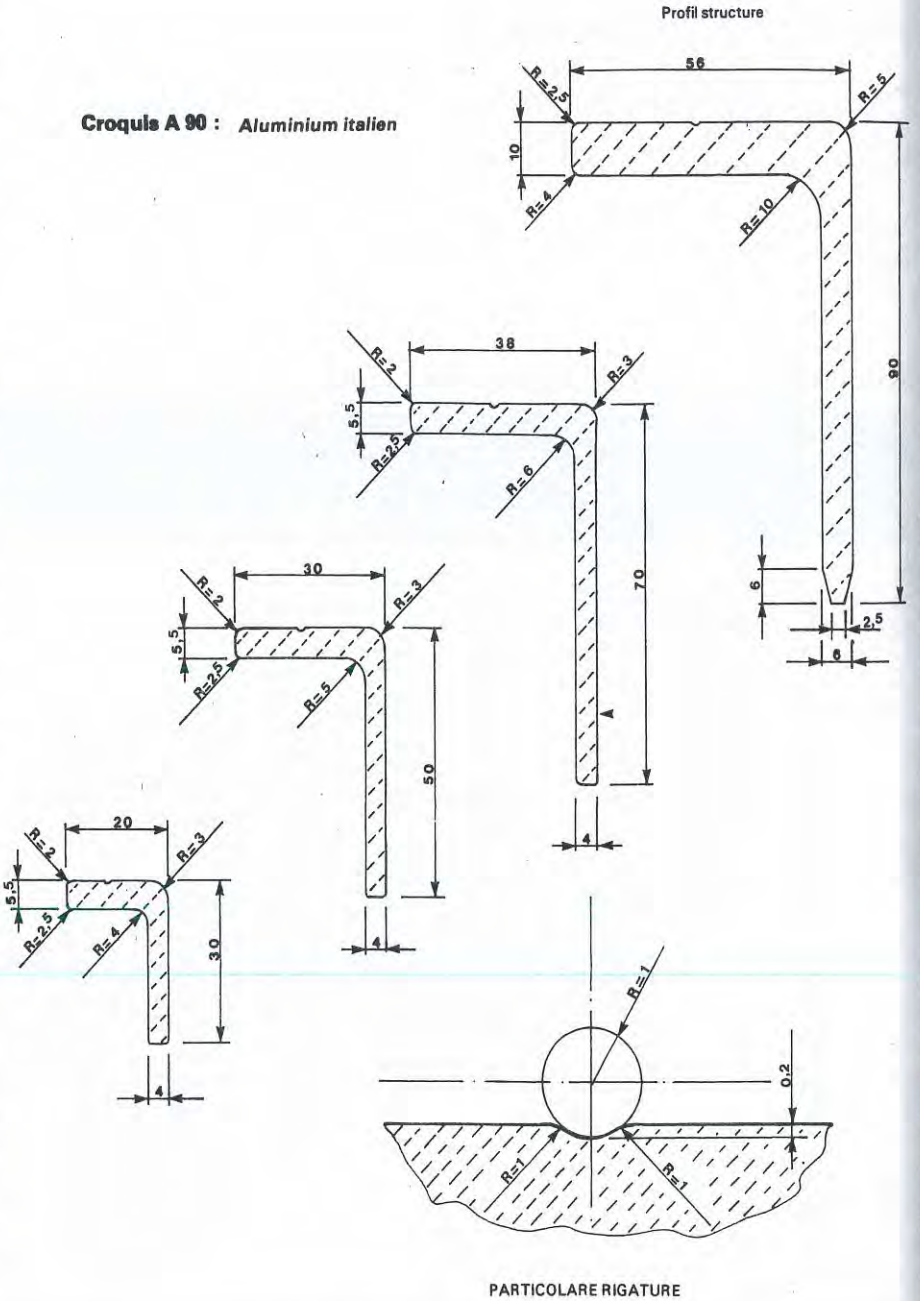
Théoriquement ce serait possible... mais pratiquement, quels risques !

Pas non plus d'acier doux ou d'inox boulonné à la coque en aluminium. Avec ce matériau l'homogénéité la plus totale est de règle.

Pas d'antifouling au plomb ou au cuivre. Pas de bagues bronze, cuivre ou laiton aux sondeur, lock-speedo.

Pas de vannes en bronze. Eventuel-

Croquis A 90 : *Aluminium italien*



lement le système *Meta* reste valable : monter des passe-coques en aluminium, soudés à la coque, haut au-dessus de la flottaison en charge. Ils peuvent alors porter une vanne en bronze.

Un axe de dérive peut être en inox s'il repose sur des bagues synthétiques. L'axe peut être lui-même en résine stynthétique !

Dans le bateau, le lest sera parfaitement isolé de la coque, qu'il soit en acier, ou pire, en plomb. Je conseille de le plastifier avec du mat de verre et de la résine. **Tous les passe-coques seront en aluminium soudé ou bien en plastique.** Pour ne pas mettre le moteur à la masse de la coque par l'eau de mer de refroidissement, ce passe-coque-là doit être en plastique.

L'aluminium est bien plus sujet que l'acier aux échanges électrolytiques, et il est électronégatif avec tout, sauf le zinc. Ayant pris le maximum de précautions avec « *tout alu* », du « *tout isolé* », du « *rien à la masse* », on peut espérer être à l'abri de la corrosion électrolytique.

PENDANODES

Pour les bateaux en aluminium on a le choix entre deux systèmes d'anodes. Pour les bateaux de « *petite* » *taille, de moins de 18 à 20 mètres, on utilisera des anodes suspendues appelées « pendanodes ».*

Ces anodes en zinc moulées autour d'un câble d'acier sont suspendues à une pince crocodile ou un coin cônique très solide et ancré dans le métal ou d'une zone du pont ou du haut du bordé. Naturellement, ce n'est pas sur la peinture qu'on pince ce système ! Ces anodes sont immergées pendant que le bateau est amarré ou mouillé. **L'anode suspendue, par paire, est placée tout près d'une zone à risque** : mèche de gouvernail en inox, arbre moteur en inox, hélice en inox (mieux vaut une hélice en AG6, je le redis).

Ce tableau vous donne les caractéristiques de pendanodes et leur capacité.

Type de Pendanodes	Diamètre mm	Longueur mm	Poids grammes	Capacité ampères heures
N° 33	33	400	900	2.500

Le modèle n° 33 est le seul tenu en stock.

La consommation dépend de :

- la nature du métal à protéger, type d'alliage
- du revêtement peint sur la carène
- **des hétérogénéités de matériaux** : inox, bronze, etc.

Un bon antifouling doit avoir un pH : 11 en milieu marin. Les antifoulings à l'huile de lin sont inutiles.

Pour choisir le nombre d'anodes il faut considérer :

- la surface de la carène ;
- la nature de l'alliage ;
- la surface et la nature des métaux autres que l'alliage ;
- le montage de ces métaux.

Jusqu'à 12 mètres une paire d'anodes suffira en général.

Les conseils de l'I.F.T.A., de Cegedur, du Centre Technique du Zinc et de la Société COPIM seront fort utiles.

La connection avec le métal de la coque doit être parfaitement nette et bien vérifiée.

ANODES FIXES

Sur de plus grands bateaux à forte « *activité* », pratiquant le charter et possédant à bord une forte installation se traduisant à l'extérieur par des hétérogénéités sévères, la fixation d'anodes contre la coque est utile.

Le potentiel de protection d'une coque en alliage de série 5.000, en eau de mer, est de l'ordre de — 0,87 ± 0,05 volt par rapport à l'électrode Ag/AgCl. Il ne doit jamais dépasser — 0,95 volt.

Pour obtenir ce potentiel, il suffit sur une coque non peinte en A.G4 MC de disposer d'une intensité de 10 mA par m². Avec une peinture ayant une résistance d'isolement de 10^8 Ohms par cm² l'intensité tombe à 1 à 3 mA par m².

Comme le métal se protège par sa calamine, cette valeur ne peut que décroître dans le temps.

En dotant le bateau d'anodes électronégatives par rapport à l'alliage on évite la corrosion alcaline-cathodique et la dégradation du revêtement peint.

On aura recours à des anodes carénées non encastrées. Ces anodes peuvent débiter un courant de 100 mA par dm². Une anode de 1,2 kg, d'une surface active de 2 dm² protège 25 m² d'alliage 5086 peint pendant 2 ans.

Les anodes fixes le plus souvent conseillées pour une coque en A.G. 4MC sont en Mercatal. Pour un bateau de 11 à 12 mètres, avec une hélice, il en faudra une paire. La société *Sofrem* fournit des anodes de 2 dm² de surface active. Ce sont les anodes à 1M.

Longueur du bateau en m	Nombre d'anodes A 1M
7 à 9	2
10 à 12	2
14 à 15	4
20 à 22	6

Les conseils du *Centre technique du zinc* seront utiles pour trouver le meilleur emplacement possible des anodes, qui dépend de chaque bateau. *(Photos A 34 et A 35. Croquis A 90)*

14 autres *Hors-série* sont parus. Voir bon de commande en fin de ce numéro.

19

LA CORROSION DES ALLIAGES D'ALUMINIUM DE CONSTRUCTION NAVALE DE PLAISANCE

Le vieillissement d'un matériau est un des plus importants critères de son choix tant l'achat d'un bateau comme de tout autre « *objet* » coûteux représente une dépense importante dont il convient d'éviter qu'elle soit mal investie. Il faut penser, même si on ne l'envisage pas exactement, qu'on pourra avoir à revendre son bateau. Sa bonne réputation, le sérieux de construction et la fiabilité du matériau seront des atouts de poids qui éviteront une inutile perte d'argent.

La façon dont les alliages d'aluminium vieillissent, s'explique par des phénomènes chimiques, métallurgiques, physico-chimiques. Les causes en sont chimiques ou électrochimiques. Mais aussi géométriques et physiques. En effet, les efforts imposés au métal lors de sa mise en œuvre lors de la construction, ou les fatigues supportées ensuite par le bateau, provoquent des hétérogénéités et des modifications cristallines facteurs de vieillissement et de corrosion.

Examinons dans ce chapitre, le seul point de la corrosion.

Elle sera étudiée sous les différents aspects qu'elle présente :

- corrosion par consommation uniforme ou régulière du métal,
- corrosion par consommation localisée,
- corrosion feuilletante.

Pour certains alliages, la corrosion est proportionnelle au temps, elle s'aggrave avec la durée. Pour d'autres, elle s'atténue avec la durée par auto-protection dite « *passivation* ».

LA CORROSION UNIFORME, CHIMIQUE

Sa cause est toujours chimique. C'est la dissolution chimique du métal au profit d'un autre corps électropositif par rapport à lui.

Elle s'exprime en grammes par mètre carré et par jour ou par an. Elle se mesure aussi en perte d'épaisseur. La densité étant de 27 kg/m²/mm, la perte en poids est de 2,7 g/m² pour 1 micron de perte d'épaisseur. La dissolution de l'aluminium a lieu dans la fourchette de pH telle que : $9 < PH < 3,5$

Cette dissolution par attaque d'un autre produit chimique, par contact direct est fonction du milieu ambiant et de la concentration du produit attaquant. Elle est aussi fonction de la position de ce produit dans le tableau galvanique par rapport à l'aluminium, fonction du voltage de son potentiel galvanique. Son action est dépolissante, dissolvante sans que les caractéristiques mécaniques soient modifiées par un autre facteur que la perte d'épaisseur, donc la diminution d'inertie transversale. Un aluminium résiste d'autant mieux que sa pureté est grande. Un alliage résiste d'autant mieux que sa solution solide est plus homogène.

LA CORROSION IRREGULIERE, LOCALISEE

La corrosion régulière est toujours d'ordre chimique, nous venons de le voir.

La corrosion irrégulière, ou localisée, est presque toujours d'ordre électrochimique.

Lorsqu'il ne s'agit pas d'une cause électrochimique, on se trouve en présence d'hétérogénéités au sein du métal.

HETEROGENEITES DU METAL

Des piqûres profondes peuvent être provoquées par l'oxydation de composants hors solution ou d'inclusions indésirables au sein de l'alliage d'aluminium. Ces piqûres peuvent se creuser jusqu'à perforer la pièce.

Des différences de températures entre une zone soudée et une zone plus éloignée peuvent par suite d'une modification cristalline amener une corrosion localisée.

Egalement des hétérogénéités de composition métallique sont à l'origine de corrosions localisées. Parfois l'inclusion métallique fond d'elle-même et la corrosion s'arrête toute seule, l'effet galvanique s'étant interrompu.

Un simple lavage à l'aide d'une solution nitrique peut suffire dans certains cas à arrêter les corrosions perforantes.

Il existe un aspect de corrosion particulier aux alliages d'aluminium : la corrosion en forme de *« galeries de taupes »*. Il s'agit de développements verniculaires au sein du métal, qui apparaissent en surface sous forme de cloques ouvertes ou non. Cette corrosion n'apparaît que dans les alliages à bas titre en métal, après un long recuit entre 250° et 300°. Au-delà de 300°, à 450°, les causes de cette corrosion disparaissent.

CORROSION ELECTROCHIMIQUE

Lorsqu'un métal est plongé dans une solution saline acqueuse, il tend à y passer en solution sous forme de cations (charge positive). Ce faisant, il se décharge négativement. Il forme une moitié de pile. Son potentiel est mesurable en complétant la pile par une électrode de référence. Le potentiel du métal dépend du potentiel de l'électrode et de la solution saline. Ce potentiel est appelé potentiel de dissolution. Il varie d'une solution à une autre et il peut se faire que deux métaux de potentiels proches s'inversent l'un par rapport à l'autre, si on change de solution (électrolyte). On donne fréquemment la valeur de potentiel de dissolution, dans un tableau dit « galvanique », par rapport à l'électrode décinormale au Calomel, dans une solution à 53 grammes par litre de Na C1 + 3 grammes par litre de H2 O2.

On utilise parfois la référence à une électrode de platine en présence d'hydrogène, ou à une électrode faite d'un fil d'argent enrobé de chlorure d'argent fondu.

En général, la solution est un chlorure de sodium, oxygéné ou pas.

Ainsi, la plupart des corrosions localisées observées dans un milieu humide sont causées par de tels effets galvaniques, qui sont des couples électriques créés par la différence de potentiel entre deux métaux en contact ou reliés par un conducteur et immergés dans le même électrolyte. On constate que les alliages d'aluminium sont électronégatifs par rapport à presque tous les métaux sauf le zinc et le magnésium (éventuellement le cadmium). Ils perdent donc leur matière au profit de tous les autres métaux.

Un alliage d'aluminium riche en magnésium sera électronégatif par rapport à un alliage riche en cuivre.

Cependant, il est possible de passiver certains métaux électropositifs par rapport aux alliages d'aluminium et de diminuer ou d'arrêter l'effet galvanique. C'est le cas de l'acier inoxydable passivé. Tout le principe de la lutte anti-corrosion repose sur cette exposition du principe du couple galvanique, de la valeur du potentiel galvanique des métaux et des phénomènes corrosifs passivants. Un couple galvanique corrosif est mesurable et peut être ainsi mis en évidence, ce qui permet de localiser et de doser la lutte anticorrosion et de vérifier si on a interrompu l'effet de pile ou non.

Variations sur le thème :

● **Des corrosions électrochimiques peuvent se produire entre deux zones d'un même métal par suite de traitements thermiques opposés (recuit et écrouissage).**

● **Des corrosions électrochimiques se produisent en cas d'*« aération différentielle »*.** A la frontière de l'eau de mer et de l'air, ou lors d'une stagnation d'eau de mer dans un recoin. La zone du métal qui reçoit le plus d'oxygène devient électropositive (cathode) par rapport à une autre moins oxygénée (électronégative, anode). L'attaque est rapide. Son effet est la formation d'une oxydation en poudre. Cette corrosion se développe près de la ligne de flottaison pour l'extérieur d'un bateau, ou dans les fonds.

● **Une zone de métal soumise à de fortes contraintes mécaniques, et pire encore à des contraintes mécaniques alternées (droite-gauche ou haut-bas) ou irrégulières se voit affaiblie.** La corrosion intercristalline s'y développe et peut amener à de spectaculaires ruptures du métal. C'est une des théories du naufrage de l'OVNI 35' « UBU ». **C'est une corrosion difficile à déceler et, de ce fait, dangereuse. Sans être absolument spécifique aux alliages d'aluminium, elle est plus courante dans ce métal que dans d'autres.** Elle est appelée « corrosion sous tension ». Il y a fort peu de consommation de métal et pas de transfert métallique. On l'appelle aussi « corrosion mécanique ».

● **Une corrosion mécanique peut venir aggraver un couple électrolytique et vice versa. L'attaque est alors très rapide et destructrice.**

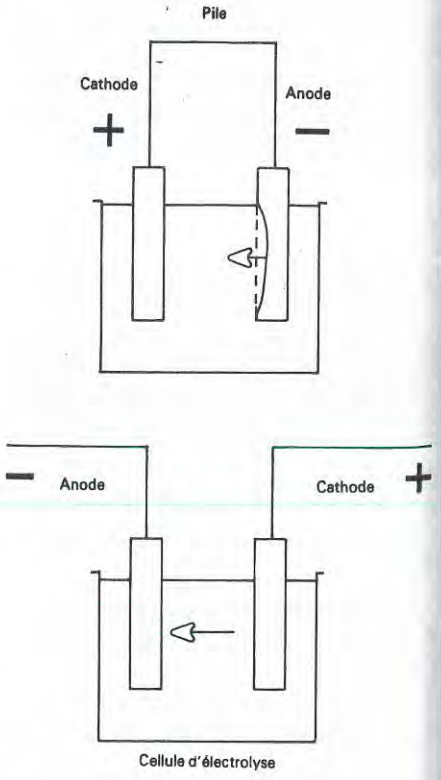
● Les alliages à hautes caractéristiques mécaniques et basse valeur galvanique y sont plus sujets que d'autres. Les A. G4MC et A. G5 en font partie, hélas !

● La vitesse et l'ampleur d'une corrosion galvanique est directement proportionnelle

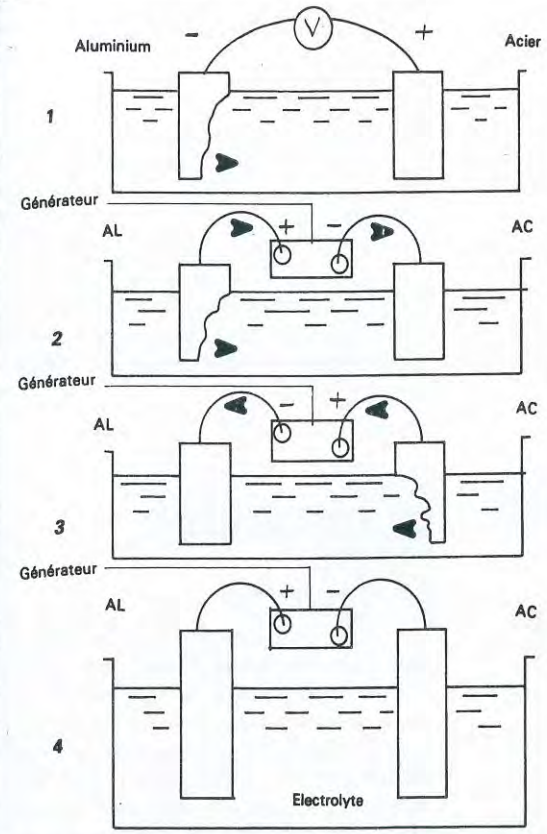
● à la différence de potentiel des métaux

● à la masse du métal électropositif

● à l'oxygénation



Croquis A 91 : ***Dans tous les cas, on nomme anode le métal-électrode qui perd ses ions.***



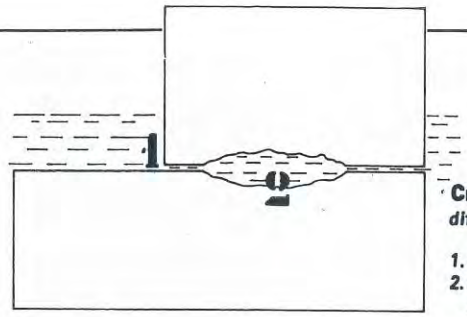
Croquis A 92 : *Principe de la protection cathodique par courant imposé*

1. Entre deux métaux de potentiels de dissolution différents se crée une pile. Le voltage est égal à la différence des potentiels (V1).

2. On interpose un générateur. Il peut augmenter la différence de potentiels.

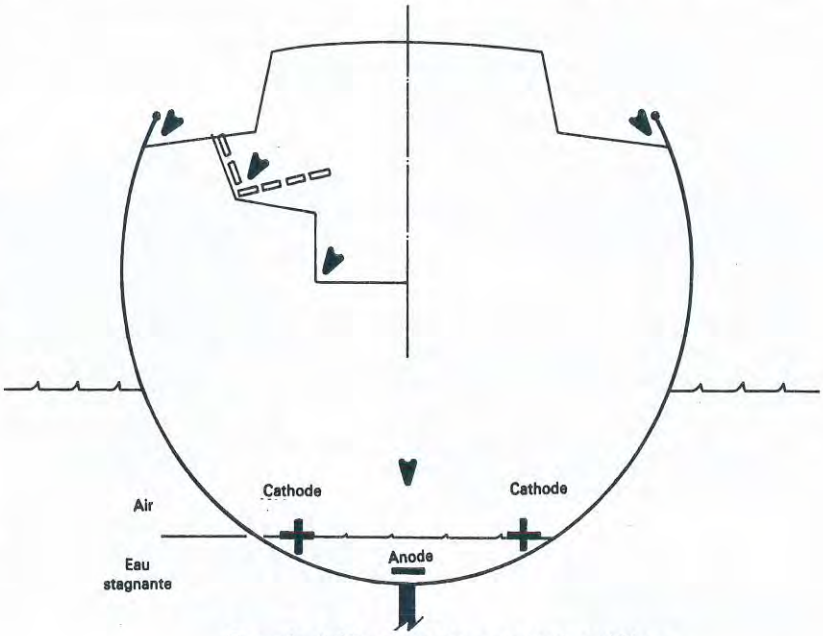
3. Inversé, ce générateur peut retourner le processus si son voltage V2 est supérieur à V1.

4. Si V2 = V1, on stabilise l'ensemble. Il n'y a pas de consommation de l'anode. C'est le principe de protection d'un ouvrage ou d'un bateau par « courant » imposé.

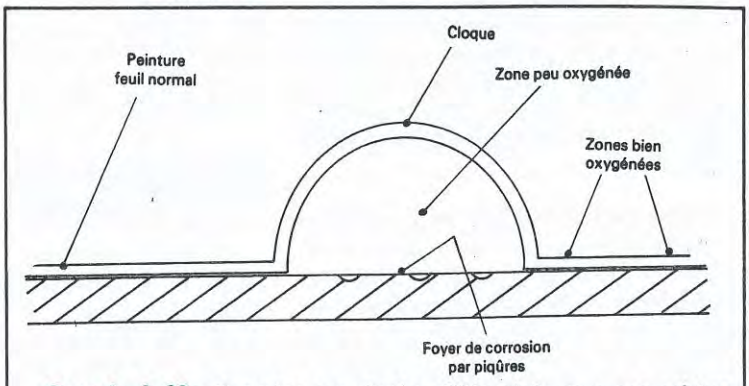


Croquis A 93 : *Electrolyse par différence d'oxygénation*

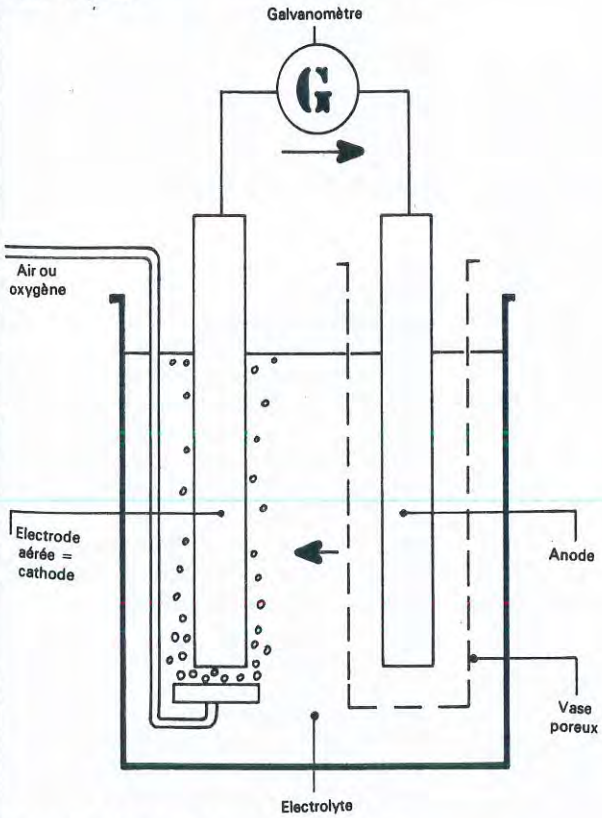
1. Zone riche en oxygène
2. Zone pauvre en oxygène : le métal est attaqué



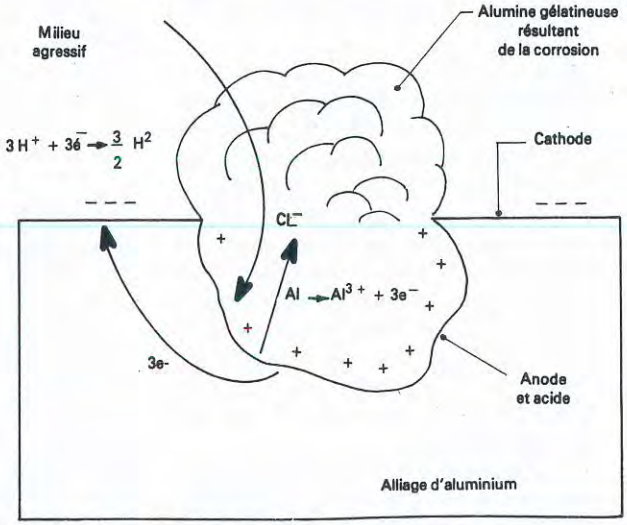
Croquis A 95 : *Corrosion par aération différentielle. Principe et localisation de quelques zones à haut risque. Dessin aussi vrai pour l'acier que l'aluminium.*



Croquis A 96 : *Corrosion par aération différentielle sous une peinture cloquée*



Croquis A 94 : *Pile d'aération différentielle*



Croquis A 98 : *Corrosion par piqûre de l'aluminium d'après Cégédur-Péchiney)*

● à la différence d'état thermique de deux zones
● à la quantité des fatigues mécaniques infligées à une zone
● à la saturation de l'électrolyte et sa température
● le développement de la corrosion est
● soit intercristallin
● soit transcristallin
● soit les deux ensemble.
● A signaler aussi la corrosion feuilletante, ou exfoliante, qui se produit sur des alliages très sensibles à la corrosion intercristalline. Elle est d'origine électrochimique et se constate aussi parfois sur certains aciers ordinaires.

La protection contre la corrosion se fait par divers moyens :
● conversion chimique,
● anodisation
● **Recouvrements de surface** : métalliques, émaillages, peintures, vernis, fibres, plastiques. Elle est l'objet d'un chapitre suivant dont les peintures en sont le développement le plus important.

Je réserve cependant ce paragraphe particulier à la corrosion par piqûres.

LA CORROSION PAR PIQURES

La corrosion uniforme est à peu près négligeable pour les alliages des séries 5000 et 6000 en eau de mer.

Par contre la corrosion par piqûres est du domaine du possible. Les alliages d'aluminium y sont sensibles dans des milieux où le pH est voisin du neutre, eaux de surface, eau de mer, humidité de l'air.

Les points de corrosion par piqûres se voient très nettement. Ils apparaissent au bout de quelques semaines de mise en eau de mer. On les remarque à un gonflement gélatineux blanchâtre d'alumine hydratée (Al (OH) 3. Le fond de la piqûre est acide et forme anode par rapport à la surface du métal qui est cathode. C'est le rapport énorme entre ces deux surfaces qui fait la vitesse de progression des piqûres.

Une corrosion par piqûres peut naître lorsqu'il y a un défaut de la pellicule d'alumine. Ce défaut peut être lié à un défaut de composition d'une zone du métal, à un traitement mécanique, au soudage (inclusion), à un pliage, au formage, et souvent à des rayures intempestives faites à la surface du métal. C'est une corrosion électrochimique rapide dans un premier temps mais dont la vitesse de creusement décroît ensuite, car de l'alumine, insoluble à l'eau de mer, reste accrochée dans le fond et sur les parois de la piqûre.

La profondeur moyenne de ces piqûres se stabilise entre 0,1 et 0,5 mm sur 20 ans. On évite la corrosion par piqûres en peignant le métal.

Une coque en AG3 doit impérativement être peinte ainsi qu'une coque en AG4MC dans l'état H 321.

Une coque en AG4MC et AG4,5 M peut ne pas être peinte. Mais pour éviter que les salissures sous-marines ne collent au métal, on est amené à peindre la zone immergée (œuvres vives) de deux couches d'antifouling. Le pont doit aussi être peint soit d'une peinture antidérapante, soit pour recevoir un revêtement collé. Ajoutons-y les fonds. Reste la muraille du bateau ! *(Croquis A 91 à A 98).*

TESTS DE COMPORTEMENT D'ALLIAGES D'ALUMINIUM EN ATMOSPHERE SALINE, SOUS EMBRUNS, EN MER

En 1965, la Revue de l'Aluminium publiait des conclusions d'expérimentations faites par l'Institut de Recherches de la Construction navale. En voici la substance.

De 1954 à 1965, l'IRCN a mené des essais d'exposition d'alliages d'aluminium aux embruns et procédé à des tests en immersion totale ou partielle. Ces essais ont été faits à *Toulon, La Rochelle, Abidjan,* et contrôlés par des organismes sérieux : CREO et CRMC (Pechiney).

PREMIER ESSAI D'IMMERSION

En 1953, eut lieu une première série d'essais. Les tôles étaient extraites de stocks de chantiers, non protégés, c'est-à-dire éventuellement rayées ou en plus ou moins bon état. Ces tôles dataient des années 1950 et 1951. Les échantillons étaient tantôt *recuits,* tantôt *écrouis.* Leurs caractéristiques mécaniques n'avaient pas été contrôlées avant essais. Résultat, ces échantillons d'A.G.3 et A.G.5 étaient très détériorés et on notait une corrosion localisée en piqûres profondes. De toute façon, on sait que l'A.G.3 doit être peint...

ESSAIS DE 1954 : IMMERSION

Cette fois, l'essai porte sur des échantillons de tôles plus récentes (1954), contrôlées et en bon état. Etaient testés des échantillons d'A.G.5 anodisés ou pas. Les résultats étaient bien meilleur, mais justement on pouvait se demander si les échantillons n'étaient pas trop parfaits pour être représentatifs des tôles habituellement mises à l'eau : meulées, soudées, soumises à des contraintes variées.

TROISIEME ESSAI : 1962 1964 : IMMERSION

Les échantillons sont cette fois de deux types. Soit très homogènes, soit de qualité courante. Les alliages testés sont de l'A.G4MC, A.G5M, A.G5MC. Au bout de deux ans de test, les échantillons ne présentent pas de traces d'attaques profondes, mais seulement des marbrures de surface dues à des salissures qui de ce fait, protègent le métal contre les sulfures de l'eau de mer.

ESSAIS EN ATMOSPHERE SALINE ET EMBRUNS

Il s'agit d'essais effectués de 1952 à 1965 sur des échantillons non peints d'A.G3 et A.G5. On ne note pas d'attaque profonde, seulement des salissures de surface. Des essais sont faits sur la même période avec des éprouvettes peintes qui, au bout de dix ans, ne présentent pas plus d'attaques. Des écrous d'acier ont été fixés sur ces éprouvettes et on ne note pas de corrosion significative pas plus qu'aux endroits rayés.

ESSAIS DE SEMI-IMMERSION

On trouve cette fois, des traces nettes de corrosion par aération différentielle. Au voisinage de nappes d'eau stagnante, la teneur en oxygène selon sa valeur, provoque une corrosion importante. On en déduit l'importance qu'il y a à éviter la stagnation d'eau, donc à faciliter sa circulation vers des points d'assèchement. C'est à la séparation eau, que se développe la corrosion la plus importante en dehors de toute corrosion électrochimique.

ESSAIS DE PEINTURES

Des essais sur une durée de cinq ans, faits sur des échantillons peints, montrent que la corrosion reste superficielle quand le film d'une peinture compatible avec l'aluminium a été entamé par rayures ou quand la peinture a été raclée.

Par contre, on trouve des attaques profondes lorsque la peinture contient des éléments métalliques toxiques : cuivre, plomb, mercure...

Pour protéger l'aluminium sous l'eau, il faut donc écarter ces composants métalliques électropositifs par rapport à l'aluminium (et qui maintenant, sont d'ailleurs interdits, car polluants, tels le plomb et le mercure), au profit d'antifoulings organiques.

ALUMINIUM ET ACIER ASSEMBLES

La construction de grandes unités des marines de guerre et de commerce met souvent en œuvre des coques en acier et des superstructures en alliage d'aluminium.

Le comportement d'un tel assemblage est donc intéressant à connaître.

● Les essais d'immersion concernent des éprouvettes d'A.G5 assemblées par rivets à des bandes d'acier. Les rivets étaient en A. U 4G. Le recouvrement alu-acier était protégé de peinture ou chromate de zinc ou d'un ruban caoutchouc (PAW ou DENSO).

En règle générale, il y eut peu de traces de corrosion de l'aluminium (et bien sûr pas du tout pour l'acier, électropositif par rapport à l'alliage) surtout avec des joints parés de PAW et de DENSO.

● Des essais de semi-immersion sont faits avec des cylindres assemblés moitié alu, moitié acier.

Eprouvettes I : les deux demi-cylindres sont rivetés avec interposition d'un ruban isolant par l'assemblage immergé, boulonnés sans protection pour l'assemblage émergé.

Eprouvette II : même assemblage immergé, mais les demi-cylindres sont coupés à leur partie supérieure et ne se touchent pas. On trouve aussi dans ces deux cas, des éprouvettes dont l'assemblage immergé est fait métal sur métal, sans isolant.

● **La corrosion se remarque surtout à la frontière eau-air par oxygénation (ou aération) différentielle,**

● **l'électrolyse attaque surtout la zone d'aluminium en contact avec l'acier, et moins les autres zones.** L'influence protectrice du ruban est nette. Son rôle isolant ouvre le circuit et évite la formation d'une pile.

● **Les éprouvettes peintes** présentent moins de corrosion que les éprouvettes non peintes.

● **Le rivetage ou les boulons doivent appliquer parfaitement les deux métaux l'un sur l'autre, pour éviter la corrosion par aération différentielle entre eux.** On doit donc rapprocher les boulons ou rivets et les lignes de serrage doivent être proches des bords des tôles.

● **Les surfaces en contact doivent être peintes avant leur assemblage.** Les rondelles isolantes doivent être d'un diamètre au moins égal aux rondelles de serrage.

ALLIAGES SOUDES, EN IMMERSION

Des échantillons d'alliages soudés ont été immergés.

Il s'agissait d'A.G4, A.G4MC, A.G5. En cinq ans à *La Rochelle* comme à *Abidjan*, on ne note que quelques attaques par piqûres et la diminution de résistance à la rupture est de 10 à 20 % pour l'A.G4 et l'A.G4MC. Pour l'A.G5, la perte de résistance à la rupture est de 50 % sur cinq ans à Abidjan, avec corrosion caverneuse de 1 à 2 cm de profondeur.

L'A.G3, l'A.G3, l'A.SG, l'A.SGM se sont fort mal comportés.

ON EN RETIENDRA

● **Les alliages immergés sont assez peu corrodés.**

● **Les alliages en semi-immersion sont beaucoup plus attaqués.**

● **L'assemblage acier-alliage est fiable lorsqu'il est bien conçu. Par contre, la corrosion est violente lorsqu'il est mal conçu.**

Sans ruban isolant entre les deux métaux de potentiels de dissolution différents.

● Lorsque le serrage de tels assemblages est insuffisamment rapproché la corrosion par aération différentielle est sévère, surtout si l'aluminium n'est pas peint,

● La corrosion électrochimique (galvanique) est nette est bien réelle. Elle se constate par mesures électriques.

MA CONCLUSION

Il faut ramener cette conclusion aux conditions de l'expérimentation, certaines erreurs de traitements thermiques ou de laminage ayant apporté des corrosions inattendues. Mais justement, peut-on assurer que toutes les tôles de tous les bateaux sont exemptes de telles erreurs ?

Je retiens :

● **qu'il vaut mieux peindre les alliages d'aluminium plutôt que les laisser nus.** Surtout l'A.G3, mais aussi l'A.G4MC.

● **Que les corrosions les plus dévastatrices** sont les corrosions galvaniques (effet de pile), par aération différentielle, et la corrosion sous tension.

● Cette seconde corrosion concerne, pour un bateau, l'extérieur, mais aussi l'intérieur de la coque, là où on trouve de l'eau en stagnation. **Il me paraît donc aussi important de peindre les fonds d'un bateau en alliage, que de peindre l'extérieur de la coque.**

● Que l'A.SGM et l'A.GS (ainsi que l'A.G3 maintenant périmé) soudés perdent jusqu'à 50 % de leurs caractéristiques de traction en semi-immersion, nus. **Il faut donc bien peindre de tels assemblages qui concernent les gouvernails et les mâts. Ou les anodiser.**

● Que la zone frontière entre l'eau et l'air, pour l'extérieur mais aussi pour l'intérieur ou le pont est celle où la corrosion est la plus forte. **Il faut donc éviter toute stagnation d'eau de mer autour, sur et dans le bateau !**

LES POTENTIELS DE DISSOLUTION

TRAVAUX DE L'ASSOCIATION DES INGENIEURS DE L'ANTI-CORROSION RAPPORTES PAR M. D. PETROCOKINO

Vous savez que pratiquement, hors des laboratoires spécialisés, on n'utilise pas l'électrode normale à l'hydrogène, mais des électrodes de référence plus pratiques et bien définies, ce qui correspond, du reste, simplement à un décalage du 0 de l'échelle.

Les potentiels indiqués ci-dessous sont définis par rapport à une électrode au sulfate de cuivre dont le potentiel propre par rapport à l'hydrogène est de : E = + 0,246 V.

Par rapport à cette électrode, tous les potentiels du tableau ci-dessous sont donc négatifs. Les voici :

Magnésium	**E = — 1,5 V**
Zinc	**E = — 1,03 V**
Aluminium	**E = — 0,79 V**
Cadmium	**E = — 0,70 V**
Acier	**E = — 0,61 V**
Plomb	**E = — 0,50 V**
Soudure (50/50)	**E = — 0,45 V**
Etain	**E = — 0,42 V**
Laiton Marine	**E = — 0,40 V**
Cuivre	**E = — 0,36 V**
Fonte	**E = — 0,31 V**
Laiton de l'Amirauté	**E = — 0,29 V**
Cupro-nickel 90/10	**E = — 0,28 V**
Cupro-nickel 80/20	**E = — 0,27 V**
Cupro-nickel 70/30	**E = — 0,25 V**
Nickel	**E = — 0,22 V**
Argent	**E = — 0,13 V**
Titane	**E = — 0,10 V**

Inox (18/8), état passif, E = — 0,08 V.

Inox (18/8), état actif, E = — 0,53 V.

J'attire votre attention sur le fait ressortant, du reste, des deux dernières indications de ce tableau, que le potentiel d'un métal par rapport à l'eau de mer, dépend de son état de surface :

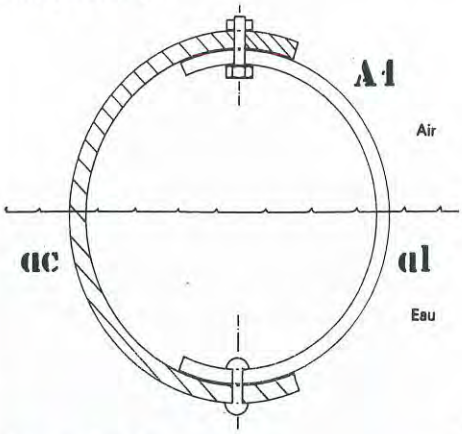
— passif, c'est-à-dire recouvert d'une couche d'oxyde naturel ;

— actif, par exemple venant d'être sablé.

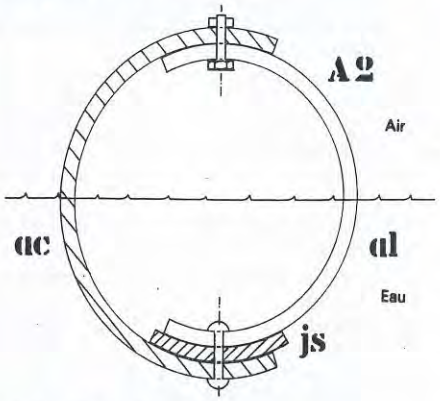
LE MOTEUR ET L'ELECTRICITE DANS UNE COQUE EN ALUMINIUM

Dans une coque en acier, il est indispensable d'isoler toute l'installation électrique, car des fuites déclenchent des réactions électrolytiques et une corrosion du matériau. C'est encore plus vrai pour une coque en alliage d'aluminium, de loin le plus sensible des matériaux de construction navale, à ce type de corrosion du fait de sa valeur de potentiel de dissolution, négative et élevée par rapport aux autres métaux que sont l'acier, l'inox activé, le bronze. Mais on arrive très bien à protéger le bateau contre cette corrosion, à condition de faire très attention à l'ensemble de l'installation électrique et à la mise en place du moteur. Dans le Numéro Hors Série 13 de Loisirs Nauti-

Croquis A 99 a

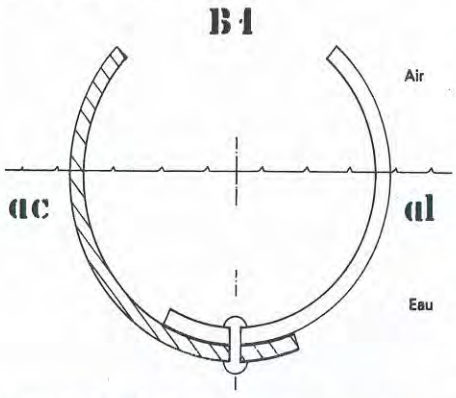


Croquis A 99 b

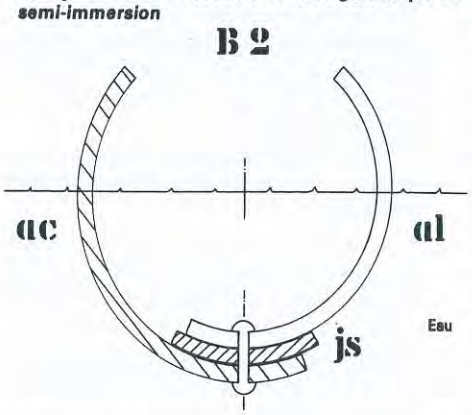


A 1 - Virole non protégée
A 2 - Virole avec joint isolant synthétique
B 1 - Demi-virole non protégée

Croquis A 99 c



Croquis A 99 d : *Test de corrosion galvanique en semi-immersion*



B 2 - Demi-virole avec joint isolant synthétique
AC - Acier
AL - Alliage d'aluminium
JS - Joint synthétique isolant

ques, « Les moteurs marins et tout ce qui touche à la propulsion mécanique », vous trouverez des détails fort utiles. Voici des recettes et conseils pour les bateaux en aluminium.

CORROSION ELECTROLYTIQUE

Elle est due à la présence dans un milieu corrosif, l'eau de mer ou l'humidité avec présence de chlorures, de deux métaux ayant une différence de potentiels supérieure à 0,25 volt. Mais il faut à la fois qu'il y ait un contact entre ces deux métaux fusse par un conducteur. **J'entends par contact, le fait que les deux métaux se touchent ou soient reliés par un corps conducteur** : métal ou eau...

Si ces deux métaux sont plongés dans le même électrolyte, eau de mer mais non reliés l'un à l'autre, rien ne se passe. Ainsi, il est faux et absurde de dire qu'un bateau en acier à côté d'un bateau en aluminium crée un couple avec ce second bateau. Ce n'est vrai que s'ils sont reliés directement ou indirectement, chaînes qui se croisent, raccordements conducteurs à une masse conductrice, telle qu'une bouée métallique.

Dans l'installation électrique comme l'installation du moteur, on se base sur cette capitale constatation. Pas de fuite de courant, pas d'électrolyse.

INSTALLATION DU MOTEUR

Un moteur de grosse puissance, plus de 40 CV, est en général parfaitement isolé quant à son circuit électrique. Ces circuits sont alors doubles et sans retour à la masse du bloc. Un moteur plus petit devra faire l'objet d'une isolation sérieuse. Son circuit électrique sera complété par un kit d'isolation qui consiste à remplacer, ou modifier le démarreur, l'alternateur, la sonde de pression d'huile, la sonde thermique, et le câblage.

Un relais de masse sera interposé sur le démarreur, ce qui évite de le remplacer. On peut prévoir aussi un relais de masse pour les éléments non isolables tels que les bougies. Par exemple, la sonde thermique est isolée par mise en place de deux bornes, une pour le retour et une pour l'information par signal électrique.

Plus généralement, on se contentera de monter le moteur « *normal* », non isolé en lui-même, en évitant de le mettre à la masse du bateau par un contact métallique.

Il faudra :

● isoler le circuit électrique de la coque. La batterie et le câblage entre la batterie et le moteur.

● Isoler le démarreur en le montant sur une plaque isolante, elle-même fixée au bateau. Cette plaque peut être synthétique ou un rectangle de bois.

● Pour l'étanchéité et pour compléter l'isolation, on met du joint souple.

● Isoler les pattes de fixation du moteur d'avec le ber par des silent-blocs isolés, qui éviteront aussi la transmission des vibrations. Les quatre pattes sont ainsi isolées.

● Isoler le bloc réducteur en le laissant en porte-à-faux, sans le soutenir.

● Isoler l'arbre d'avec le moteur par un accouplement souple isolé. Ce type d'accouplement est constitué d'un bloc synthétique semi-dur, dont les vis de fixation sont soit décalées, soit isolées.

● Isoler l'arbre d'avec la coque en évitant le contact métallique. Ainsi le presse-étoupe sera du type souple et flottant. La bague hydrolube sera synthétique. J'en profite pour attirer l'attention sur ce point, il existe des bagues hydrolubes en plastique et d'autres synthétiques aussi, mais baguées de bronze. Ces dernières sont à éviter absolument tant pour la construction aluminium que pour la construction acier.

● Isoler la prise d'eau de mer de refroidissement du moteur. Là se pose un problème. En effet lorsque le moteur tourne, l'eau aspirée établit le contact entre la coque et le moteur. Lorsque le moteur ne tourne pas, il n'y a pas de contact en principe. Pour un petit voilier, on pourra se dire que le nombre d'heures de fonctionnement est faible. Il n'est pas négligeable pour autant.

Pour un grand voilier ou une vedette à moteur, le nombre d'heures de fonctionnement est important. Il impose d'isoler parfaitement le circuit d'eau de refroidissement. Option que je conseille à tous, en définitive.

Pour isoler le circuit d'eau de refroidissement, il faut remplacer le passe-coque soudé, en aluminium par un passe-coque en matériau synthétique vissé. En effet, même un tuyau souple raccordé à la coque par un passe-coque ne résout rien, car c'est l'eau qui est le conducteur.

● Isoler le moteur d'avec le réservoir de fuel. Le fuel n'est pas conducteur, mais si le moteur est relié au réservoir, lui-même fixé à la structure, il y a mise à la masse du moteur à la coque. On interrompt donc le tuyau d'alimentation en fuel et le tuyau de retour, tous deux en inox plutôt qu'en cuivre, par une portion de tuyau synthétique, souple, résistant aux hydrocarbures. Le double rôle de cette portion souple est d'isoler le moteur et d'éviter la transmission des vibrations.

Il conviendra aussi d'isoler le tableau de bord en le montant comme la commande à distance du démarreur.

Ce tableau de bord peut aussi être fixé dans les aménagements, ce qui simplifie tout.

En résumé, un moteur monté avec une ligne directe est isolé, si sont isolés les éléments suivants :

● commandes de démarreur et tableau de bord,

● batterie,

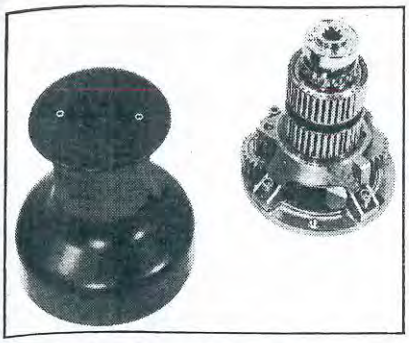


Photo A 36 : *L'accastillage moderne marie l'aluminium (poupée), l'inox (roulements) et le bronze (mécanique).*

Dessin A 100 a : *Montage conforme au règlement du 7 août 1979 de la Marine Marchande*

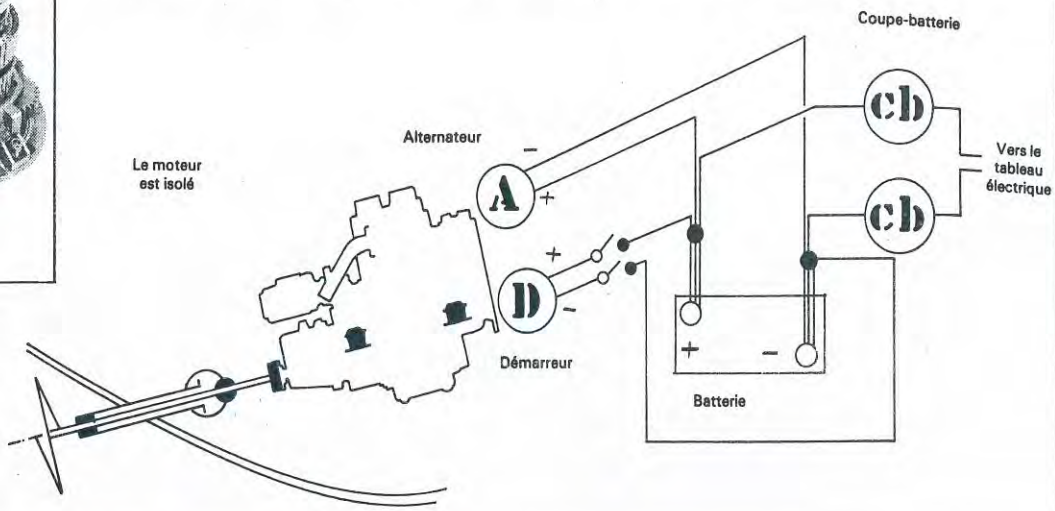
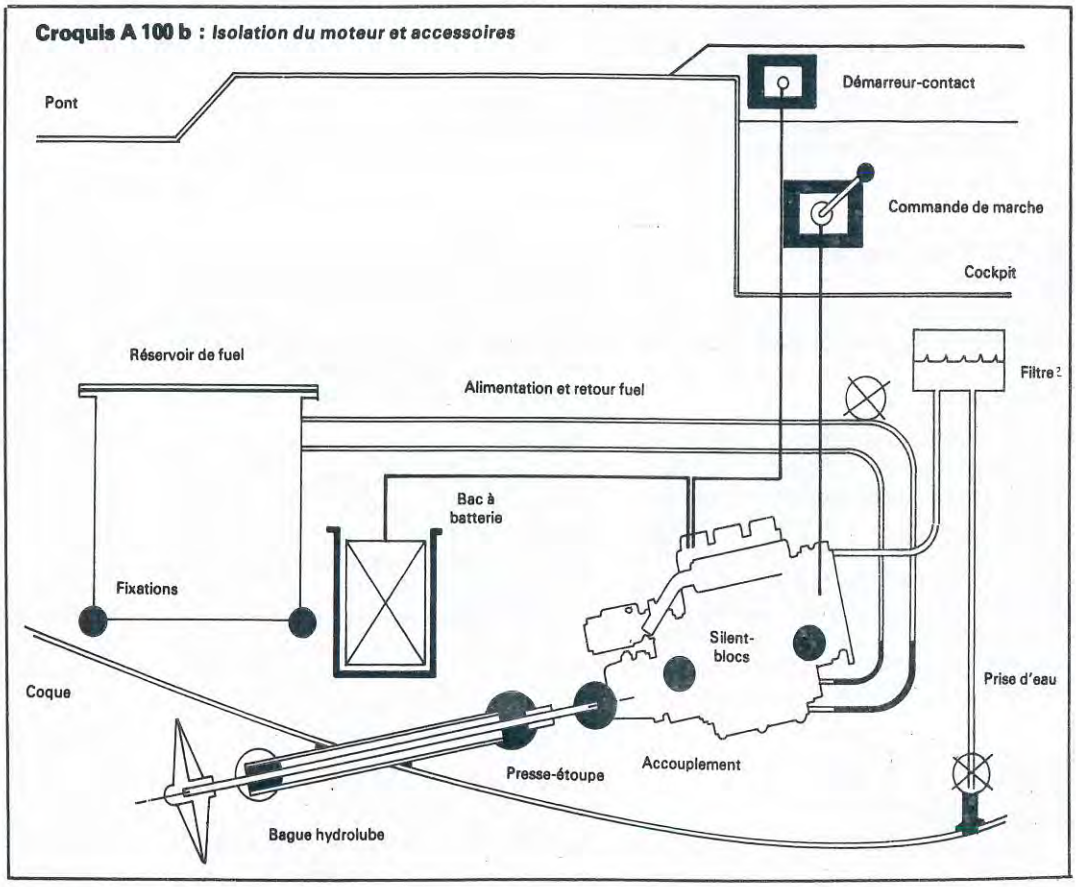


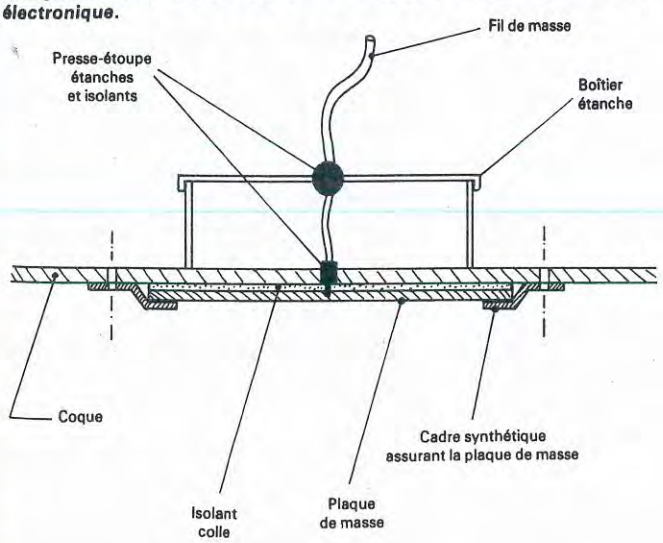


Photo A 37 : *Un winch aluminium de fonderie et usiné, inox, bronze (photo Barbarossa)*

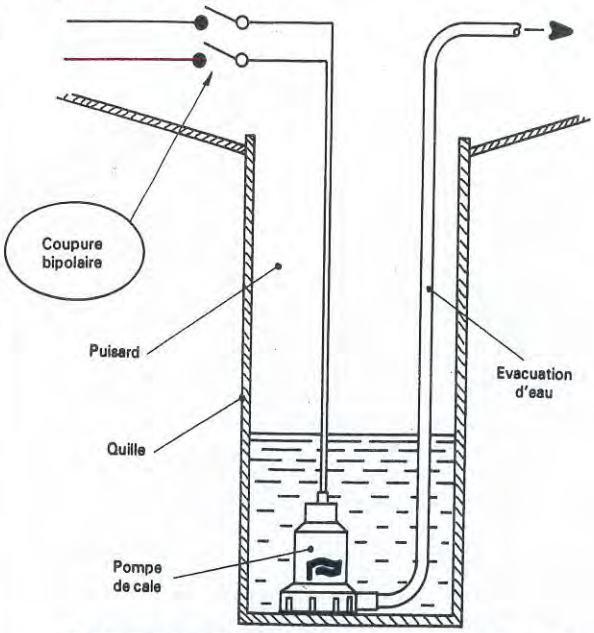
Croquis A 100 b : *Isolation du moteur et accessoires*



Croquis A 101 : *Plaque de mise à la masse pour appareillage électrique ou électronique.*

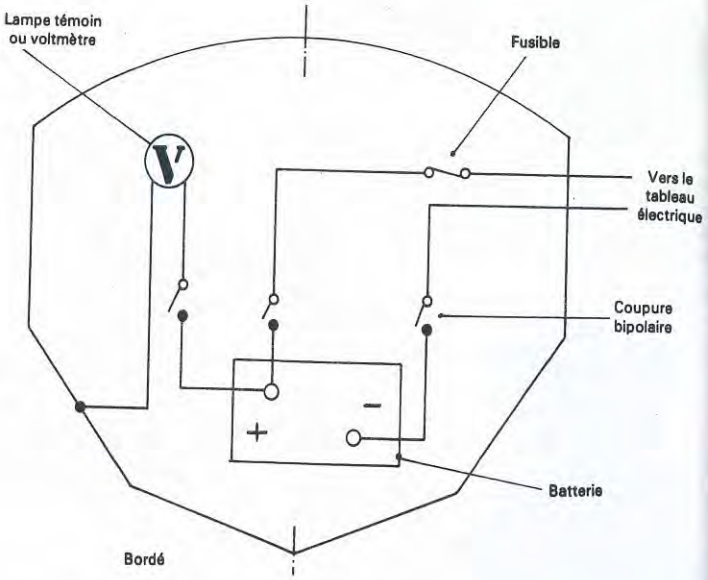


Croquis A 102 : *Pompe de cale*



Une coupure bipolaire est nécessaire pour isoler le + et le — de la batterie à laquelle la pompe est reliée. De ce fait, la pompe n'est plus « automatique ».

Croquis A 103 : *Vérification de l'étanchéité du câblage électrique, de l'isolation des appareils, ou détection et mesure des fuites de courant. D'après Cégédur-Péchiney.*



● eau de refroidissement et conduites de fuel,

● bloc moteur et pattes par des silent-blocs isolés, car tous les silent-blocs ne le sont pas !

● arbre de l'hélice.

Un moteur en S-Drive (Sail-Drive) sera plus délicat à isoler et en général il faudra faire appel à un professionnel. Par contre les S-Drives de Perkins semblent isolés correctement d'origine. Dans l'ensemble, les précautions énoncées ci-dessus restent valables. C'est leur réalisation qui peut être plus délicate du fait de la transmission qui, si elle était soudée, établirait le contact électrique.

INSTALLATION ELECTRIQUE

Il semble aisé d'isoler l'ensemble du câblage, cependant des pièges existent qui peuvent surprendre ceux qui ne sont pas avertis.

Ainsi, on pense qu'un câble gainé peut toucher le métal puisque la gaine l'isole.

C'est vrai tant que la gaine est en bon état. C'est faux lorsqu'elle s'use ou se détériore avec le temps. Usée, les câbles peuvent toucher le métal. Poreuse, l'humidité finit par établir une fuite de courant qui passe dans la structure et le bordé.

Il va donc falloir éviter toute mise à la masse, même accidentelle. Pour cela, il faut soit choisir un matériel adéquat, soit éloigner les câblages du métal. Ou les deux. Eloigner le câblage est aisé si on donne la priorité à la sécurité sur l'esthétique, car il est à peu près certain qu'on multiplie ainsi les endroits où les câbles seront apparents. Il est possible de faire passer les câbles entre le vaigrage et la mousse. Mais alors subsiste le risque que les câbles touchent la structure, barrots et membrures. Il est possible de les faire passer à l'intérieur du bateau, sur le vaigrage, dans les côtés du pont, le long du haut du bordé.

Le câblage pourra être caché par une cornière en bois ou en plastique. Il pourra passer dans les équipets hauts. Il faut demeurer réaliste, souvent on fait passer les câbles entre la mousse isolante et le vaigrage. Dans ce cas, les angles de structure doivent être habillés de mousse pour qu'aucun frottement n'existe de la gaine sur le métal. Les câbles doivent passer le plus haut possible près du pont et, sous le pont, le plus près de l'axe possible.

Ceci dit, le matériel doit être choisi de grande qualité.

● Câbles à triple gaine ou gaine sandwich, U 500 VGV ou U 100 Ro 2V par exemple.

● Liaisons soudées par brasures à l'étain.

● Diamètre des fils de 2,5 à 6, voire 10 mm² selon importance de l'installation.

● Coupe-batteries bipolaires sur le + et le —.

● Isolation des batteries dans des bacs en contre-plaqué plastifié avec aération haute vers le pont, mais étanches vers les fonds.

● Eviter que l'humidité puisse imprégner une pièce de bois sur laquelle serait fixé un élément conducteur qui risque alors de se mettre à la masse de la structure porteuse de cette pièce de bois, devenue conductrice par l'humidité.

● Préférer pour les bateaux de moins de 12 mètres, les feux triples de tête de mât aux feux répartis sur les balcons. Ces feux, quels qu'ils soient, seront d'un type approuvé et très bien isolés par une fixation sur un matériau synthétique lui-même fixé sur le métal.

● Le passage des fils sur le pont se fera plutôt par des tubes coudés en forme de crosse, que par des prises « dites étanches ». Du joint étanche empêche les pénétrations d'eau et complète l'isolation.

Il faudra aussi faire attention :

● A isoler le guindeau s'il est électrique. Sa fixation au pont doit être isolée par interposition de plaques et gaines de vis, synthétiques, de part et d'autre du pont.

● A la pompe de cale électrique dont l'axe de la turbine est sous tension. Mieux vaudra éviter ces pompes automatiques et préférer une pompe mécanique ou électrique commandée depuis le tableau général et non immergée. Un long tuyau avec crépine sera plongé dans chaque compartiment qu'on souhaite assécher.

● A l'électronique, qui devra être isolée avec soin. Attention aux passe-coques de sondeur et speedomètre qui ne devront pas comporter de rondelles en bronze.

● **Des mises à la masse peuvent être nécessaires pour certains appareils tels que des émetteurs radio, radio-compas.** Une plaque de masse sera alors fixée sur la coque, mais isolée de celle-ci très soigneusement.

Un contrôle permanent des courants vagabonds doit être installé avec un millivoltmètre qu'on peut brancher sur la coque.

Ce millivoltmètre allume deux lucioles. Il faut prévoir une indication de pertes négatives et de pertes positives. Ceci entre dans le contexte d'un numéro sur

l'électricité et dépasse le thème de la construction métallique. Les conseils d'un professionnel devront être requis pour aller plus avant. Cet inventaire permet d'alerter le lecteur. Le détail est affaire de longs développements spécialisés.

Voyez cependant les dessins qui illustrent ces précautions.

On retiendra, en manière de conclusion que l'installation électrique, sur un bateau en alliage d'aluminium :

- doit être réalisée en bi-fils,
- ne doit jamais être mise à la masse de la coque,
- doit être vérifiée très souvent. Entre le pôle positif de la batterie, on installe un millivoltmètre ou une luciole (lampe témoin).

Lorsqu'elle n'est pas utilisée, l'installation doit être coupée. On coupe le circuit à l'aide d'un coupe-batterie.

Lorsqu'on désarme le bateau, les batteries doivent être déposées.

La puissance de l'installation se calcule par la formule :

$$I = \frac{W}{V}$$

I = Intensité totale à prévoir, capacité des batteries.

W = Somme des consommations en watts des appareils.

V = Voltage de l'installation : 6,12 ou 24.

La chute de tension dans un câble ne doit pas excéder 4 % de la tension normale.

Par exemple, 0,48 V pour une installation en 12 volts.

Chaque appareil a son circuit propre, relié à des interrupteurs bipolaires, et avec un fusible. Le calibrage du fusible est proportionnel au diamètre du câble :

Section du câble	Calibre du fusible
2,5	15
4	20
6	32
10	40

Les raccords de fils peuvent être des dés en plastique. Ils seront alors enfermés dans des boîtes étanches, vendues dans le commerce sous le nom de « *boîtes de dérivation* » en plastique. Ces boîtes doivent être le plus haut possible près du pont et près de l'axe, et vissées sur un tasseau de bois ou une cloison.

CONTROLE DE L'INSTALLATION ELECTRIQUE

Normalement il ne doit y avoir aucune perte. Pour s'en assurer, il faut avoir recours au montage suivant :

On intercale entre le + de la batterie et un point de la coque une luciole, lampe témoin, ou un millivoltmètre. L'aiguille se déplace ou la lampe s'allume s'il y a une fuite. On peut monter un interrupteur entre le + de la batterie et le témoin de contrôle.

ISOLATION ET PEINTURE

L'aluminium est un métal patinable comme l'inox. Il se couvre d'une pellicule d'alumine qui le protège de l'action corrosive de l'eau de mer. On entend parfois dire qu'il est inutile de peindre un bateau en aluminium car il s'auto-protège. Je prône une politique différente, que j'explique.

Inox et aluminium s'auto-protègent. Mais la pellicule de patine, oxyde de chrome pour l'inox et alumine pour l'aluminium, n'est pas toujours parfaite. La corrosion peut se porter sur ces défauts de la patine. Le rapport de la masse de l'anode, zone présentant un défaut, à la masse de la cathode, zone saine, est énorme. La corrosion peut alors être rapide. Elle peut ainsi toucher une soudure ou une zone de tôle soumise à une corrosion sous tension.

L'avantage d'une peinture est de réaliser une pellicule au moins contrôlable et volontaire. Cette peinture protège le métal de l'extérieur par le film étanche (aussi étanche que possible) de ses couches de finition, et par l'intérieur par les couches de protection anodique (zinc) qui mettent l'ensemble du métal de base à la même polarité au lieu de laisser des différences de potentiels exister.

Voilà pourquoi je préfère qu'un bateau en aluminium soit peint. La couche de peinture est une garantie contre d'éventuelles irrégularités de la couche de patine.

Il en est ainsi pour l'alu et l'inox. De toute façon, aucun d'eux n'est naturellement antifouling, et il faut les peindre sous l'eau. Au-dessus de la flottaison et à l'intérieur dans les fonds, il s'agit de parer le métal contre des risques faibles, mais non négligeables dus à la présence de chlorures dans l'atmosphère. *(Photos A 36 à A 37. Croquis A 100 à A 103).*

20

PROTECTION CONTRE LA CORROSION DES ALLIAGES D'ALUMINIUM ET PEINTURES

La lutte contre la corrosion passe par une palette de mesures préventives tenant à la conception et à la construction, à l'application de revêtements de surface ou à une protection électrochimique.

CONCEPTION ET CONSTRUCTION

L'architecte et le constructeur doivent consacrer une part de leur travail à éviter le vieillissement du matériau qu'ils mettent en œuvre. On évite la corrosion :

- En évitant de multiplier les recoins favorables à la corrosion par aération différentielle.
- En favorisant la circulation d'eau dans les fonds par la disposition d'anguillers.
- En répartissant les contraintes mécaniques.
- En évitant des mises à la masse électriques.
- En évitant des incompatibilités électrochimiques de matériaux et métaux à différence de potentiel de dissolution importante.
- En aérant et isolant bien les bateaux.
- En détendant soigneusement le métal mis en forme.
- En passivant les métaux électropositifs par rapport aux alliages d'aluminium, et qui peuvent être passivés.

PROTECTION ELECTROCHIMIQUE

Les alliages d'aluminium sont électronégatifs par rapport à la plupart des autres métaux sauf le magnésium et le zinc principalement.

Mais au sein d'une même coque de bateau en alliage d'aluminium, certaines zones peuvent être électropositives par rapport à d'autres. Ainsi les zones les plus oxygénées seraient (faiblement) électropositives par rapport aux zones les moins oxygénées ; les zones fatiguées par des contraintes et des mises sous tensions, surtout altérnées, seraient électronégatives par rapport à des zones moins malmenées.

La protection anodique d'un bateau en acier est une donnée connue, parfaitement adoptée et admise. La protection anodique d'un bateau en alliage d'aluminium fait moins l'unanimité. Il est exclu de fixer sur la coque des anodes, sauf sur les grands bateaux.

Par contre, on peut fort bien admettre l'utilisation d'une protection par anodes suspendus à un câble métallique. (conducteur) lorsque le bateau est au mouillage dans un port, donc en eau plus ou moins stagnante.

L'anode en magnésium ou en zinc est pendue à un câble de deux ou trois millimètres de diamètre, en galva ou en inox, par une pince crocodile qui doit mordre dans le métal et non pas être pincée sur une zone peinte.

Le rôle de cette anode est d'offrir à un métal électropositif par rapport à

l'aluminium une différence de potentiel plus grande que celle que ce métal a avec l'aluminium. C'est alors cette anode qui se consomme et protège l'aluminium. La consommation de l'anode est bien visible, et son remplacement par une anode neuve facile à prévoir. Il serait utile de choisir l'anode à la plus forte différence de potentiel par rapport à l'aluminium. Mais le coût des anodes en magnésium fait que l'on achète en général des anodes en zinc.

Le second rôle des anodes, et pas forcément le moindre, est de mettre l'ensemble du métal de la coque du même coté de la différence de potentiel par rapport à l'anode. Ainsi la consommation de métal ne se fait pas entre deux zones de la coque, mais entre la coque et l'anode qui perd ses ions.

A mon avis, le rôle de l'anode est réellement utile et les bateaux en alliage d'aluminium devraient en posséder une ou deux sur chaque bord. Surtout s'ils ne sont pas peints !

REVETEMENTS DE SURFACE

La peinture est le revêtement auquel on pense immédiatement. C'est un grand chapitre auquel je donne une place importante. Mais il est utile juste avant de parler peinture, de mentionner les autres protections de surface qui se rencontrent surtout dans le traitement de l'accastillage et des mâts.

Mentionnons :

- Le doublage métallique d'un alliage fragile à la corrosion par une fine peau d'un alliage résistant à la corrosion. Procédé inexistant en construction navale.
- L'émaillage à chaud cuit à 450°.
- La vérification d'émaux à chaud ou à froid.
- Les vernis.
- Les revêtements plastique par fibres (stratification) ou peau appliquée par bain, au pistolet ou déformation à chaud (rilsanisation, nylon, polypropylène...).
- L'anodisation.

Ce dernier procédé, le plus couramment rencontré en traitement d'accastillage et de mâts en construction navale est détaillé dans un chapitre particulier.

LA PEINTURE

On n'arrête pas de nous le répéter, les alliages d'aluminium de la famille 5000 mais aussi de la série 6000 se protègent par un film d'oxyde : l'alumine. Ils n'ont pas besoin d'être peints sauf certains d'entre eux.

Et pourtant, on peint !

On peint pour isoler la coque des salissures qui s'y colleraient ; pour protéger l'alliage contre la corrosion par piqûres ; pour améliorer « la glisse » et pour faire joli. Et sur le pont, pour éviter de glisser.

Une gamme peinte

Une gamme, ou « un système » complet, comprend :

- Une préparation de la surface de l'alliage pour en nettoyer la surface et substituer à l'alumine qui n'accroche pas bien la peinture, une autre couche d'oxydes complexes auxquels adhérera mieux la peinture.
- Un ou plusieurs « *primers* » qui servent à adhérer parfaitement au métal et, avec lui, à faire adhérer tout le système.
- Un apprêt ponçable pour éliminer les défauts de surface.
- Des enduits pour parfaire l'aspect du bordé.
- Une ou plusieurs couches de finition et de décoration.

Préparation de la surface

Pour que le reste du système adhère bien, il faut :

- Dégraisser.
- Faire un décapage léger.
- Donner au métal une micro-géométrie d'accrochage.

Pour pratiquer cette micro-géométrie, on pourra soit sabler l'alliage, ce qui est parfait (*META*), soit le « *bouchonner* » avec une ponçeuse vibrante ou à disque. Les soudures sont parfaitement arasées.

Pour décaper la surface, on peut utiliser un des produits suivants : Foscral C 513 ; Déoxydine 670 ou 624 ; Framanol ; Paroxal 2 M. Cegedur insiste : à l'exclusion de tout autre ! Ces produits décapants et dégraissants servent aussi à entretenir le bateau non peint. L'alumine est ainsi éliminée.

Il faudra ensuite passer un primer.

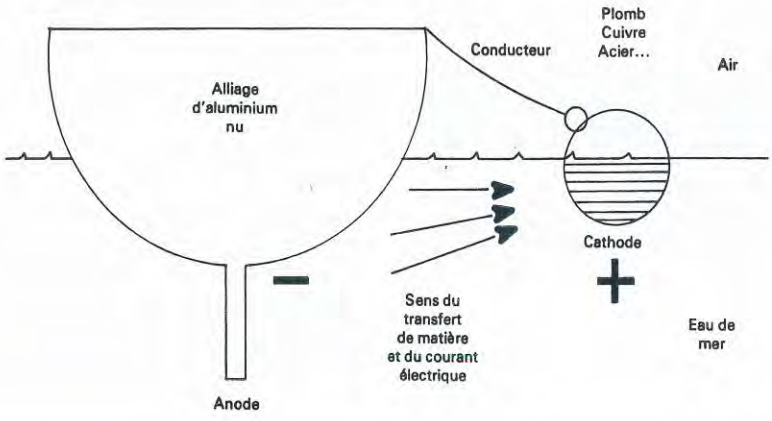
Pour de grands bateaux, on pourra choisir un système plus complet.

- Sablage, au corindon plutôt qu'à la silice.
- Décapage basique suivi d'une neutralisation acide et d'un rinçage.
- Ou bien décapage et chromatisation.
- Ou bien décapage et phosphatation.

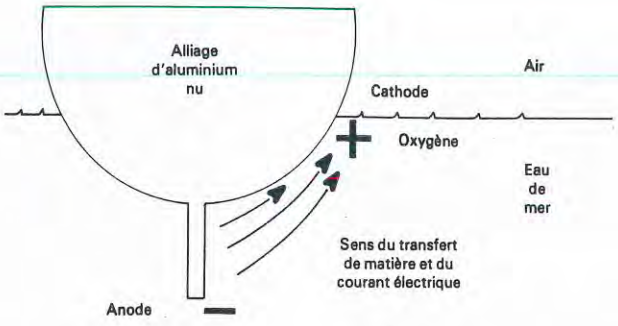
Classement selon la valeur protectrice et l'adhérence

- Dégraissage non décapant.
- Dégraissage basique puis neutralisation chromique.

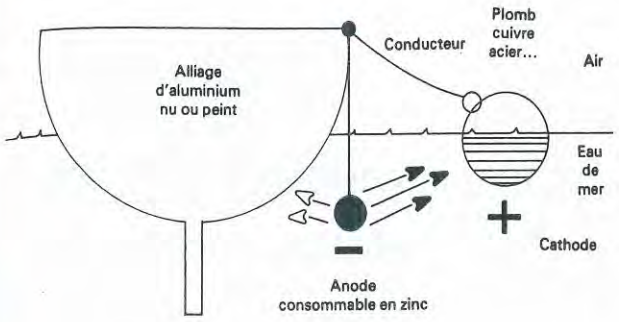
Croquis A 104 : ***Echange électrolytique (galvanique) entre deux métaux de potentiels différents dans un milieu conducteur.***



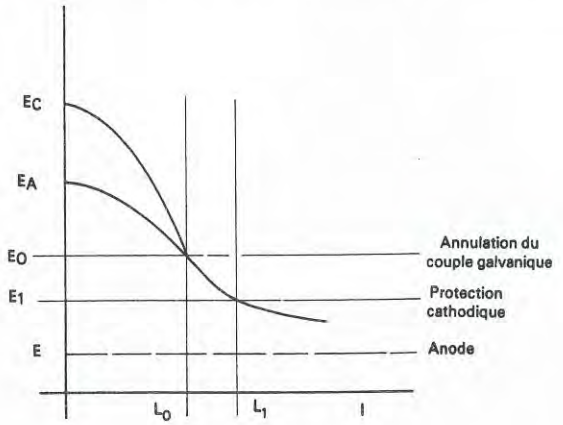
Croquis A 105 : ***Echange au sein d'un même ouvrage par différence d'oxygénation d'une eau stagnante = aération différentielle.***



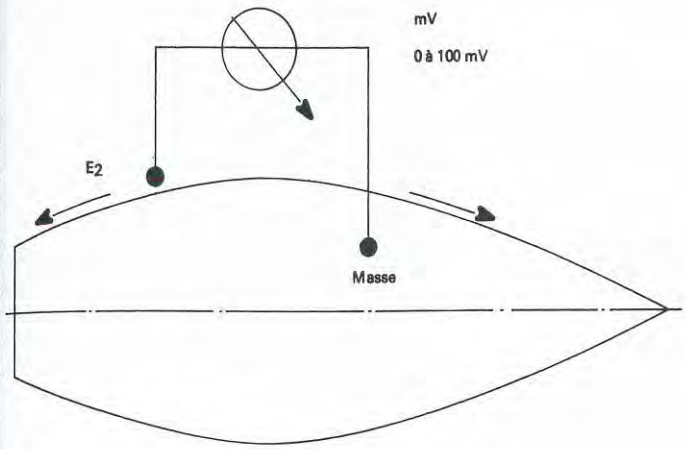
Croquis A 106 : *Dans un échange galvanique, l'anode consommable s'interpose entre le métal électronégatif et le métal électropositif plongés dans l'électrolyte.*



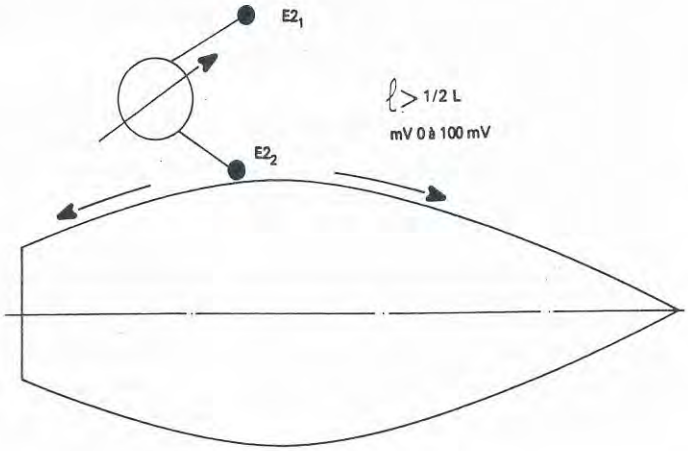
Croquis A 107 : *Polarisation d'une pile galvanique par une anode sacrificielle*



Croquis A 108 : *Mesure des potentiels locaux d'une carène par la méthode à une électrode de référence*



Croquis A 109 : *Mesure des potentiels locaux d'une carène par la méthode à deux électrodes de référence*



- Dégraissage basique et stabilisation acide.
- Dégraissage non décapant puis sablage ou ponçage et dégraissage basique (neutralisé) ou décapant.
- Décapage sulfochromique.

Application des peintures

En général, la première couche est appliquée à la brosse et les suivantes au pistolet ou au rouleau.

Il faut veiller à ne peindre que des surfaces tout à fait sèches, sans trace de condensation. Il faut se méfier des traces grasses. Voyez les explications sur le cloquage aux chapitres des corrosions (corrosion par piqûres) et de l'entretien. Chaque couche détrempe la couche précédente surtout à la brosse. La compatibilité entre couches doit être parfaite. Les liants des peintures ne sont pas tous compatibles. Par exemple, un vernis gomme laque sur une peinture grasse.

Le temps de séchage entre couches doit ête scrupuleusement suivi. On doit lire attentivement la notice du fournisseur à ce sujet ainsi que sur les fourchettes de tolérance de température et d'hygrométrie.

Les primers

Les primers, ou primaires, préparent l'adhérence du système. On choisira en général des primers époxy ou des caoutchoucs chlorés. Des études ont montré l'intérêt du chromate de zinc comme antioxydant en milieu marin. Il s'agit d'un tétraoxychromate de zinc qui doit représenter 20 % de la charge totale des pigments dans le liant.

On peut associer l'action d'un primaire phosphatant et d'un primaire vinylique au chromate de zinc en milieu très agressif comme l'eau de mer. Certains primaires phosphatants sont ponçables comme un apprêt.

Les apprêts, mastics

Ils permettent de combler de menus défauts de surface, petites rayures. Les plus gros défauts sont comblés par des mastics à appliquer à la raclette par larges passes croisées. On choisira le plus souvent possible des apprêts et mastics époxy. Ils s'appliquent sur le primaire et non directement sur le métal.

Couches de finition

Les couches de finition sont là pour faciliter l'entretien (lisses) et agrémenter l'aspect. Elles servent aussi à parfaire l'étanchéité du système peint. Selon leur composition, elles s'appliquent sur le primer ou sur l'apprêt ou le mastic. Pour les bateaux, on ne les applique jamais directement sur le métal même dégraissé. Un primer est nécessaire. On trouve des peintures de finition.

- **Glycérophtaliques** : bordé.
- **Au brai** : fonds à l'intérieur.
- Au caoutchouc chloré : partout.
- Vinyliques ou acryliques.
- **Epoxy** : partout sauf sur le pont où elles « *étoilent* » car elles sont rigides.
- **Polyuréthanes** : partout.

Les caoutchoucs chlorés sèchent assez vite.

Les peintures polyuréthanes et époxy ont une bonne adhérence et une bonne résistance à l'abrasion. La résistance aux intempéries des glycéro est intéressante.

Voyez les exemples de peintures donnés par International et Méta ainsi que les caractéristiques des peintures sur les tableaux suivants.

POURQUOI DOIT-ON DECAPER UNE COQUE DE BATEAU ALLIAGE LEGER AU JET D'ABRASIF ?

C'est vers les années 1965 qu'en France, quelques architectes et constructeurs se sont intéressés à l'alliage léger, plus spécialement pour la réalisation de voiliers de course et course croisière, ou de vedettes rapides.

A l'époque, la plupart des promoteurs de cet intéressant matériau, pris dans le vertige de leur enthousiasme, ont affirmé qu'aucun revêtement n'était nécessaire sur l'AG4MC, celui-ci étant incorrodable à la mer !...

Il a cependant fallu se rendre bien vite à l'évidence : si cette dernière solution peut être considérée comme acceptable sur des œuvres mortes partiellement chaudronnées, divers problèmes sérieux n'ont pas manqué de se poser par ailleurs.

Des ennuis (parfois d'une extrême gravité) sont apparus sur des œuvres vives car on avait, à l'époque, très largement sous-estimé les conséquences dramatiques des phénomènes d'électrolyse auxquels l'AG4MC demeure fort sensible.

Le tir a été parfaitement rectifié grâce à une plus grande vigilance au niveau des installations électriques, à la mise en place de protections cathodiques et surtout par l'emploi de peintures pour tenter d'isoler le métal des différentes formes d'agression sous-marine (peintures exemptes de cuivre bien entendu).

TOUT N'EST PAS GAGNE CEPENDANT, POURQUOI ?

Parce que le cycle habituel d'application des peintures reste très insuffisant et ne peut garantir l'adhérence de ces dernières.

Il est en effet curieux de constater que l'on se contente, dans la plupart des cas, d'un dégraissage du métal suivi d'un dérochage avant toute application, et, comble de l'ironie, ces opérations sont effectuées au chiffon ou au tampon, alors que toutes les fiches techniques des fabricants de produits de préparation spécifient bien clairement que seule l'immersion du métal au bain permet son traitement convenable !...

Soyons logique : une surface mal préparée chimiquement permet-elle d'assurer l'adhérence sérieuse d'un quelconque système ?

Certainement pas et les spécialistes le savent bien : il faut impérativement décaper au jet d'abrasif (sabler) toute surface si l'on veut obtenir la granulométrie qui garantit l'accrochage d'un revêtement.

Quels sont donc les spécialistes qui le savent ?

1) Ceux qui effectuent de manière continuelle des essais dans les laboratoires de recherche des producteurs d'alliage léger.

2) Les laboratoires de tous les fabricants de peintures sérieux.

3) Les utilisateurs de matériel industriel sous-marin en alliage léger, l'armée, etc.

Pourquoi la plupart des fabricants de peinture américains recommandent-ils le décapage au jet d'abrasif de manière formelle sur les fiches techniques de leurs produits « alliage léger » alors que les filiales européennes de ces mêmes maisons en sont encore à préconiser le dégraissage suivi d'un dérochage ?

Parce que dans l'esprit de la plupart, le décapage au jet d'abrasif coûte trop cher.

Or, ce n'est pas vrai. Certes, il faut posséder une installation minimum ou faire appel à un sous-traitant et résoudre le problème de l'environnement (pollution par la poussière de sable), mais en revanche, l'opération est extrêmement rapide (rien à voir avec un travail semblable sur acier), elle reste dans tous les cas beaucoup plus rapide qu'une mauvaise préparation au chiffon.

Conclusion :

Se priver des bienfaits évidents d'une attaque mécanique de surface par sablage de l'alliage léger, avant tout traitement par peinture, constitue, à notre avis, une grave erreur d'appréciation dont trop de plaisanciers continuent à subir les conséquences.

Nota :

Tous renseignements complémentaires, essais, comptes rendus et fiches techniques de nombreux produits (américains plus spécialement), sont à votre disposition à Tarare.

POURQUOI ET COMMENT ZINGUER LES OEUVRES VIVES D'UN BATEAU EN ALLIAGE LEGER ?

Si le décapage au jet d'abrasif avant peinture des carènes alu semble désormais indispensable à la majorité des techniciens avertis, le choix du traitement des œuvres vives, après cette préparation, reste encore un problème pour certains.

Or, si de nombreuses peintures protègent avec plus ou moins de bonheur une surface immergée, un revêtement inorganique au zinc silicaté, en revanche, offre de multiples supériorités techniques car :

1) Son adhérence est absolument inouïe sur surface décapée mécaniquement.

2) Son renforcement du potentiel anti-abrasion du métal (70 % en moyenne) n'est égalé par aucun autre type de revêtement.

3) Ses qualités antifouling sont certes modestes, mais suffisantes pour une première mise en service et même pour une navigation en eaux peu chargées.

4) Mais surtout son potentiel de dissolution au bénéfice de l'alliage léger assure une protection cathodique surpuissante.

Nota :

Cette protection cathodique par le revêtement reste, bien entendu, assistée par des anodes plus électronégatives encore, à souder ou à pendre (nous consulter).

Si le zingage de l'alliage léger immergé en eau de mer vous surprend, sachez cependant qu'il est couramment employé dans pas mal d'autres pays et fait maintenant partie du cahier des charges de nombreux organismes compétents.

Décapage mécanique + zingage inorganique silicaté = très grande sécurité anti-électrolyse des œuvres vives de bateaux alliage léger.

Texte communiqué par le chantier *META*

L'OPINION DE LA SOCIETE GENERALE DU MAGNESIUM SUR LA PROTECTION CATHODIQUE D'UNE COQUE EN AG 4 MC

PROTECTION CATHODIQUE

« Pour les bateaux en acier, l'utilisation de la protection cathodique soit par anodes sacrificielles, soit par courant imposé, est d'usage courant. Il devrait donc en être de même pour les œuvres vives des carènes en AG4MC quand se présentent des risques de couples galvaniques. Ceux-ci peuvent être facilement détectés par des mesures électrochimiques simples. Mais avant de décrire ces mesures, nous signalerons que lorsqu'on prévoit une protection cathodique par suite de la constatation de couples galvaniques, ce n'est pas à proximité des anodes locales que doit être le maximum de protection, mais près des cathodes.

En effet, la protection cathodique abaisse à des valeurs plus négatives le potentiel de l'alliage ; l'anode étant à un potentiel plus négatif que la cathode, on doit chercher à abaisser plus vite celui de la cathode pour diminuer le couple. Nous estimons que 60 % du courant de protection est utilisé pour abaisser le potentiel des cathodes locales, 15 % pour les anodes et 25 % pour amener le potentiel à la valeur nécessaire pour obtenir la protection complète.

RECHERCHE DES ZONES ANODIQUES ET CATHODIQUES

a) méthode aux deux électrodes

On utilise deux électrodes de référence reliées à un millivoltmètre (0 à 100 mv) de résistance interne élevée (100.000 ohms) et à zéro central. Une des électrodes est immergée à une certaine distance du navire et en général au minimum la moitié de la longueur du navire, l'autre est placée à proximité même de la coque (2 à 3 m) à l'aide d'une perche en bambou par exemple pour bien épouser la forme de la carène. Cette électrode est déplacée le long de la coque de 0,50 m en 0,50 m tant en profondeur qu'en longueur, et on note en chaque point la valeur et le sens de la différence de potentiel relevée. La même mesure est répétée sur l'autre bord du navire.

On dresse la carte des potentiels des œuvres vives et on situe les zones anodiques et cathodiques.

b) méthode à une électrode

On peut utiliser également une seule électrode de référence qui est déplacée le long de la carène dans les mêmes conditions que précédemment, et on relève en chaque point le potentiel du métal.

L'électrode la plus couramment employée est celle Argent Chlorure d'Argent, car la différence de potentiel entre 2 électrodes est en général inférieure à 5 mV (il faut noter cette différence pour définir le zéro d'origine dans le cas d'utilisation de la méthode des 2 électrodes de référence).

CRITERES DE PROTECTION CATHODIQUE

a) pour les alliages du type aluminium magnésium

Le potentiel de protection dans l'eau de mer est de — 0,87 ± 0,05 V par référence à l'électrode Ag/agCl. Il ne doit en aucun point de la structure atteindre — 0,95 V valeur à partir de laquelle peut apparaître une attaque alcalino-cathodique du métal. En outre, comme dans ces conditions on se trouve très en dessous de la surtension de dégagement cathodique d'hydrogène sur l'AG4MC, les risques de dégradation du revêtement sont très faibles, surtout s'il s'agit de revêtement vinylique très sensible à la surcharge cathodique.

b) intensité

Pour obtenir le potentiel ci-dessus indiqué il faut lors de la mise en service pour l'AG4MC **sans revêtement** une intensité de l'ordre de 10 mA/m². Avec un revêtement ayant une résistance d'isolement de 108 ohms cm², il suffit de 1 à 3 mA/m².

Mais après quelques mois, l'intensité nécessaire tombe à 0,5 voire 0,1 mA/m² par suite de la formation d'une couche étanche à la surface de l'aluminium. Il n'y a pas lieu de modifier l'installation pour revenir à l'intensité initiale.

c) mode de protection

Pour obtenir la protection cathodique, on utilise soit des anodes sacrificielles soit le courant imposé. Nous pensons que les anodes sacrificielles sont préférables car en choisissant des anodes à potentiel moyennement électonégatif il n'y a aucun risque de surcharge cathodique, donc de corrosion alcalino-cathodique ou de dégradation du revêtement.

d) type d'anodes

Les anodes vont dépendre des dimensions du navire et des couples galvaniques qu'on y trouve, surtout pour les structures arrière.

L'anode est carénée mais elle peut être également encastrée partiellement pour en diminuer la traînée.

On n'a aucun intérêt à encastrer totalement l'anode car après une certaine usure la cavité qui se forme perturbe plus qu'une anode bien carénée, même si celle-ci déborde de 10 à 15 mm à l'extérieur de la carène. Notre préférence va aux anodes en alliages spéciaux d'aluminium dont la d.d.p. avec l'alliage n'est que de 200 mV.

Utilisation des anodes en alliages spéciaux d'aluminium.

E = 1,05 volt à 100 mA/dm²

C = 3,6 kg par A/an.

Une anode de 1,2 kg de 2 dm² de surface active protège pendant deux ans 25 m² d'AG4MC peint.

Si vous avez le bateau dans le cœur et la croisière dans la tête, lisez notre mensuel Loisirs Nautiques. Voir abonnement en fin de numéro.

PRECAUTIONS POUR OBTENIR DE BONS RESULTATS AVEC UNE CARENE EN AG4MC

Un certain nombre de précautions élémentaires doivent être prises pour éviter la corrosion des œuvres vives. Parmi les plus importantes, on peut citer celles se rapportant aux appareillages électriques ou électroniques du bord.

Installation électrique

Suivant les dimensions du navire, l'installation électrique peut être très différente.

Pour les petites unités, on dispose le plus souvent du courant continu fourni par un accumulateur en tampon sur une génératrice couplée au moteur, ou rechargée périodiquement.

Pour les plus grosses unités, on dispose en général de courant alternatif. Un redresseur avec accumulateur en tampon assure le courant continu pour les appareils électroniques (radio, radar, sonomètre, etc.).

Mais, quels que soient les cas, il faut éviter que la coque du navire serve de retour du courant, ou vienne en contact accidentel avec le pôle plus de la source de courant continu.

La masse, pour les appareils en nécessitant une, doit être indépendante et parfaitement isolée de la carène.

Le courant alternatif peut lui aussi créer des corrosions par suite des phénomènes de redressement par les oxydes superficiels en contact avec l'eau de mer.

En général, il est prudent d'utiliser un câble sous double gaine plastique à trois conducteurs, l'un des conducteurs servant pour le circuit de masse et les deux autres pour la distribution du courant.

Pour éviter une détérioration rapide de la masse, on peut pour certains appareils électroniques, placer sur la sortie vers la masse un condensateur de valeur élevée $\leqslant 100 \mu f$.

Les courants HF - MF et BF s'écouleront bien par la masse, mais il n'y aura pas de fuite possible du courant continu.

Tous les appareils doivent être montés parfaitement isolés, et il faut prohiber les fils volants, le bricolage ; en particulier pour certains petits appareillages, le bois à bord n'est pas un isolant, il s'humidifie superficiellement et devient conducteur, il faut utiliser prespan, bois plastifé, plastique.

L'utilisation de vis en nylon pour la fixation des appareillages évite qu'un brin de fil souple en contact avec une vis métallique ne crée une dérivation vers la coque.

PRECAUTIONS DIVERSES

a) Evitez de transporter avec les mains ou le corps le film superficiel qui se forme sur la peinture anti-salissures sur des surfaces nues en AG4MC, vous risquez d'y déposer un métal qui y créera un couple avec l'AG4MC.

b) Aux sorties des écoulements d'eaux usées, prévoir un renforcement de la protection par revêtement pour éviter l'action des détergents alcalins sur le métal : en marche, le risque est faible, mais à l'arrêt il n'est pas négligeable.

c) Ne jamais utiliser un élément de structure pour une masse, même pour peu de temps car une amorce de corrosion entraîne immédiatement une différenciation électrochimique locale qui ne peut que s'aggraver dans le temps. De même, ne pas immerger près de la coque un bout de fil de cuivre pour servir de masse.

d) Ne pas se servir du puisard comme poubelle pour les boîtes de conserves ou comme frigidaire pour celles-ci. L'eau de mer qu'il contient peut s'acidifier par détérioration physico-biologique (pH 5 à 6) et dissoudre un peu d'étain du fer blanc, et créer un couple avec l'AG4MC là où le revêtement aura été détérioré par les chocs des boîtes.

Vérifier l'isolement de la pompe d'épuisement du puisard surtout si elle est en alliages cuivreux. Une petite anode placée à l'intérieur de la crépine peut éviter certaines corrosions.

e) pour les navires importants, il est souvent avantageux de placer une anode derrière la grille de la prise d'eau s'il y a plusieurs métaux en présence. »

L'OPINION DU CHANTIER META SUR LA PROTECTION ET LA PEINTURE D'UN BATEAU EN ALLIAGE D'ALUMINIUM

1 SOUS LA FLOTTAISON (œuvres vives)

sablage impératif

4 à 5 couches d'Inversalu (zingage inorganique)

Important : pendant la première année, l'Inversalu doit rester nu les couches externes font office d'antifouling. Ensuite 2 solutions :

a) 2 couches de Métadhère P.I.

2 couches d'Alumaguard (antifouling spécifique de l'alliage léger).

b) 2 couches d'Inversalu (efficacité moindre en mer chaude).

2 AU-DESSUS DE LA FLOTTAISON (œuvres mortes)

a) Le métal est laissé à l'état naturel : pas de traitement (inconvénient : le métal se ternit).

b) Le métal est sablé : 2 solutions :

b1) 1 couche Chrométa 1

3 couches de Métalac (coloris au choix)

b2) 3 couches de vernis phénolique Le Tonkinois (fini jaune-vert métallisé)

3 A LA FLOTTAISON

2 couches de Métablack

Note 1 : dans la solution Z-a, dépolir la surface de métal nu qui doit recevoir le Métablack, pour une meilleure adhérence.

Note 2 : sur Inversalu, neutraliser avec soin (voir document en référence)

4 - PONT (superstructures)

2 solutions, après sablage impératif :

a) 1 couche de Chrométa 1

1 couche de Métalac (blanc recommandé)

2 couches de Métalac (blanc recommandé) avec incorporation d'antidérapant.

b) 1 couche de Métadhère-Pont (produit antidérapant)

2 couches de Métalac (blanc recommandé)

5 ANODES

Méta a retenu les anodes à pendre

Note : il est absolument nécessaire de vérifier la continuité électrique entre les anodes et la coque, au moins à chaque manipulation.

Nous consulter pour tout problème de protection cathodique.

6 INSTALLATION ELECTRIQUE

Installation bifilaire impérative : pas de masse à la coque (le moteur, les auxiliaires devront obligatoirement être conçus avec - et - isolés de la masse).

Il est intéressant de séparer le circuit moteur du circuit général afin de pouvoir isoler le moteur, quand il ne sert pas, et ainsi éviter d'éventuelles fuites à la masse.

7 VANNES ET PUITS

Pour éviter tout problème d'électrolyse, il est recommandé d'utiliser des vannes non métalliques, et de les placer au-dessus de la flottaison, sur des tubes de forte épaisseur (en 12, minimum) et de nuance strictement identique à celle de la coque. Maintenir le tube par une jambe de force s'il est long.

Note : de l'intérêt de placer les vannes au-dessus de la flottaison, histoire vécue (hélas !) : un bateau en A.L. était équipé de vannes en plastique situées sous la flottaison, le feu prit à bord, sans toutefois menacer l'existence du bateau, pourtant ledit bateau coula bel et bien. Pourquoi ? Parce qu'une vanne fondit, donnant lieu à une voie d'eau incolmatable, ce qui ne se serait pas produit si la vanne avait été au-dessus de la flottaison.

8 INTERIEUR

Pour un vaigrage classique, aucun traitement n'est requis sur la surface interne de la coque.

Pour des conditions de navigation particulières (régions polaires, par ex.), nous consulter.

9 RESERVOIRS

Eau potable : seul l'intérieur du réservoir est susceptible d'être traité :

Sablage impératif

1 couche de Chrométa 1

2 couches d'Alimeta

Fuel : aucun traitement n'est requis.



Photo A 38 : ***Avant d'être peinte, une coque en aluminium doit être sablée si on veut un travail bien fait. (Photo Méta).***

LE SYSTEME INTERNATIONAL APPLIQUE A UN BATEAU EN ALLIAGE D'ALUMINIUM

Préparation

- Discage.
- Dérochage : après dégraissage au V 5000, appliquer une couche de Foscral. Après 1/2 h rinçage, à grande eau.

Primaires

- **1 fine couche** de Wash Primer 6840/6940.
- 6 à 24 h après, 1 couche d'Epoxy Resin Composition.
- 16 à 24 h après, 1 couche d'Epoxy Resin Composition.

Finitions

- 16 à 24 h après, 1 couche de sous-couche pour Perfection 709 (si la finition est blanche, remplacez cette sous-couche par 1 couche d'Epoxy Resin Composition).
- 16 à 24 h après : 1 couche de Perfection 709.
- 16 à 24 h après : 2e couche de Perfection 709.

Pont

- Sur la 1re couche de Perfection 709, saupoudrer la poudre antidérapante.

Carène

- 6 h après la dernière couche de Perfection 709, appliquer une couche de TBT ou Micron 25 (toutes teintes) ou Hard Racing Extra Strong blanc. 2 couches d'antifouling sont impératives.

Enduits

- Si besoin, appliquer entre deux couches d'Epoxy Resin Composition nos enduits epoxy :
- Low Density Filler pour reprise de forme.
- Dressing Cement ou Interpad pour ratissage.
- Brossage à l'eau douce des enduits avant mise en peinture.

ALUMINIUM ET ECHANGES THERMIQUES

Thermodynamique : notions sommaires. Pouvoir réfléchissant

Quant un rayonnement monochromatique frappe une surface (le soleil sur un pont de bateau par exemple), il y a une transformation d'une partie de l'énergie en chaleur. Une partie est réfléchie ou diffusée (dans toutes les directions). Une partie est absorbée. Une partie traverse le corps.

Pour :

λ = Longueur d'onde du rayonnement.

$r\lambda T$ = Est le facteur de réflexion ou pouvoir réfléchissant.

$a\lambda T$ = Est le facteur d'absorption ou pouvoir absorbant.

$f\lambda T$ = Est le pouvoir filtrant.

Tels que :

$r\lambda T + a\lambda T + f\lambda T = 1$.

Ces trois facteurs dépendent du matériau, de sa densité, de son épaisseur, de son état de surface, et de facteurs ambiants.

La relation ci-dessus écrite, devient pour chaque radiation monochromatique prise isolément, et en l'appliquant à toutes les longueurs d'ondes :

$$\frac{\int_0^\infty i\lambda (r\lambda T + a\lambda T = f\lambda T)\, d\lambda}{\int_0^\infty i\lambda\, d\lambda} = 1$$

$i\lambda\, d\lambda$ est l'énergie incidente sur une bande $d\lambda$ autour de $l\lambda$ $r\lambda T, a\lambda T, f\lambda T$ sont les pouvoirs réfléchissant, absorbant, filtrant en leur totalité, tels que :

$r\lambda T + a\lambda T + r\lambda T = 1$

Un corps dit noir serait un corps dont le pouvoir absorbant à lui seul, serait égal à 1.

$a\lambda T = 1$, puis $r\lambda T = 0$ et $f\lambda T = 0$

Pouvoir émissif

Un corps de surface S à la température T émet dans l'espace, en un temps Z et dans la bande de longueur d'onde λ et $\lambda + d\lambda$, une énergie qui s'exprime par $dQ\lambda^{\lambda + d\lambda}$

Le pouvoir émissif monochromatique énergétique de ce corps pour la longueur d'onde λ et à la température T, le rapport suivant :

$$e\lambda T = \frac{dQ\lambda^{\lambda + d\lambda}}{S \times Z \times d\lambda}$$

Les lois physiques qui s'y rapportent sont :

La loi de Kirchoff

- Un corps n'émet une radiation de longueur d'onde λ= à une température T que s'il est capable de l'absorber et si le corps noir à la même température peut l'émettre.
- Pour tous les corps, le rapport du pouvoir émissif monochromatique à la température T, au pouvoir absorbant à la même température, est le même et n'est fonction que de λ et de T.

Soit : $\frac{e\lambda T}{a\lambda T} = F(\lambda, T)$

La loi de Stefan Boltzmann

$eT = e_0 T\, aT$

$eT = 5{,}7\ aT\ \left(\frac{T}{100}\right)^4$ en W/m^2

Ceci est une expression simplifiée de chaque énoncé de loi et de leur démonstration.

L'aluminium nu, poli, voire légèrement recouvert d'une fine couche d'alumine a un excellent pouvoir réfléchissant.

Par contre, la couche d'alumine qui a tôt fait de le recouvrir altère énormément le facteur réfléchissant ($r\lambda T$) au profit du facteur absorbant et du facteur filtrant.

Ainsi l'aluminium s'échauffe plutôt moins, au soleil, que l'acier ou le zinc. Donc, s'il ne réfléchit pas cette énergie, c'est qu'il l'absorbe, et d'autant plus que sa surface est opacifiée (alumine... ou peinture non brillante ou sombre). La nuit s'accompagne d'un fort rayonnement dans l'espace par restitution d'énergie et d'un important abaissement de température.



Photo A 39 : *« Sortie d'arbre d'hélice sur un Vulcain ».*

En clair

Cela revient à dire que, avec une surface non brillante (oxydée d'alumine ou peinte) l'aluminium absorbe une grande partie de la température du rayonnement solaire. Il s'ensuit :

- Un échauffement important de l'air contenu à l'intérieur du bateau.
- Une importante condensation à la *« renverse »* des températures du matin (condensation à l'extérieur) et de la nuit condensation à l'intérieur.

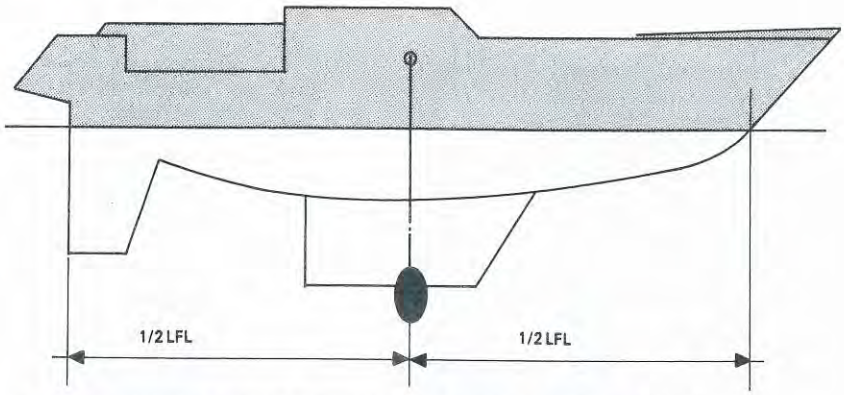
D'où la nécessité :

- D'isoler abondamment la surface intérieure d'un bateau en aluminium, plus encore que pour un bateau en acier.
- D'aérer copieusement un bateau en aluminium par un grand nombre d'aérateurs efficaces.

Je rappelle alors :

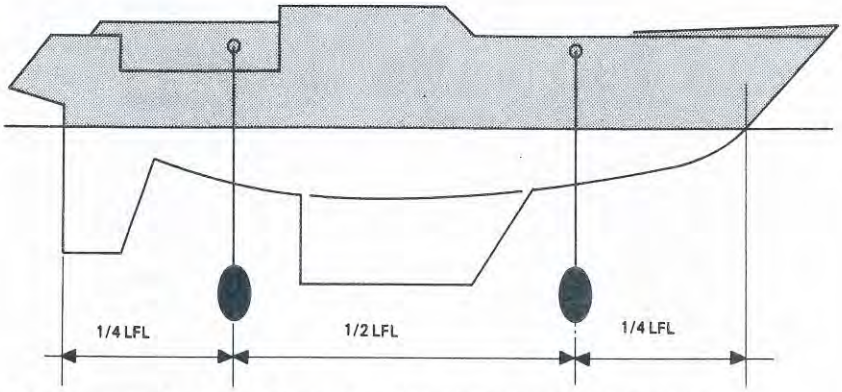
- Qu'un aérateur est dit efficace s'il fonctionne au port comme en mer ; qu'il pleuve ou qu'il vente ; sans nécessité d'être clos lorsqu'il pleut.
- N'est donc pas un aérateur efficace, un aérateur qu'on doit clore la nuit, une *« porte »* de descente qu'on ne peut pas laisser ouverte en mer ou s'il pleut.

Croquis A 110 : *Bateau de moins de 9 mètres.*



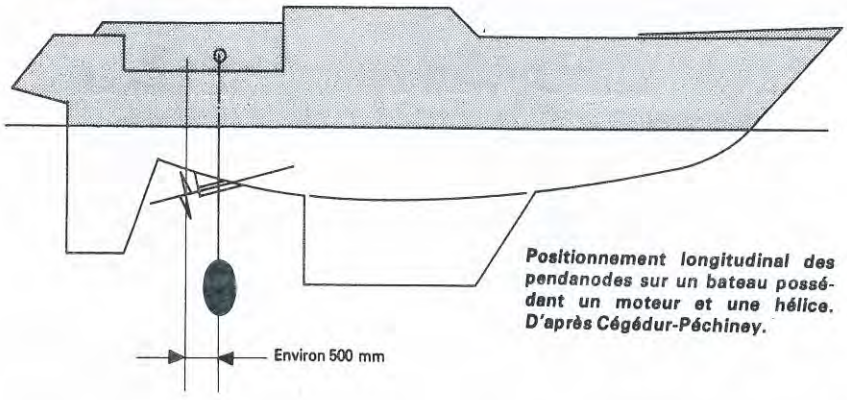
Positionnement longitudinal des pendanodes sur un bateau sans hélice. D'après Cégédur-Péchiney.

Croquis A 111 : *Bateau d'une dizaine de mètres*



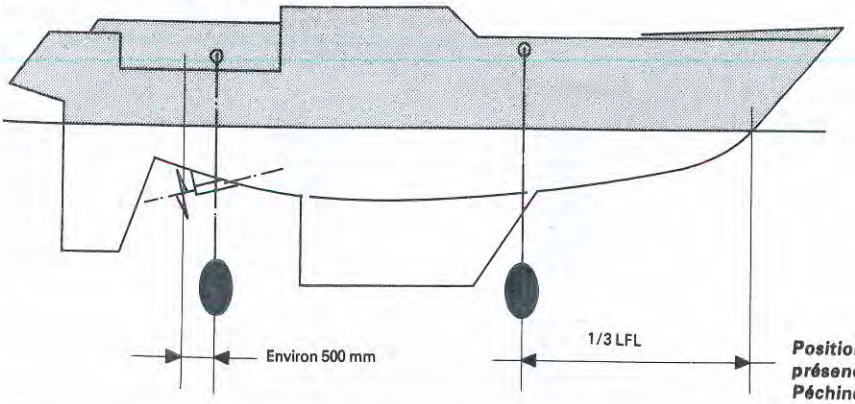
Positionnement longitudinal des pendanodes sur un bateau ne possédant pas d'hélice. D'après Cégédur-Péchiney.

Croquis A 112 : *Bateau de moins de 9 mètres.*



Positionnement longitudinal des pendanodes sur un bateau possédant un moteur et une hélice. D'après Cégédur-Péchiney.

Croquis A 113 : *Bateau d'une dizaine de mètres.*



Positionnement longitudinal des pendanodes en présence d'une hélice. D'après Cégédur-Péchiney.

On considère donc comme aérateur efficace :

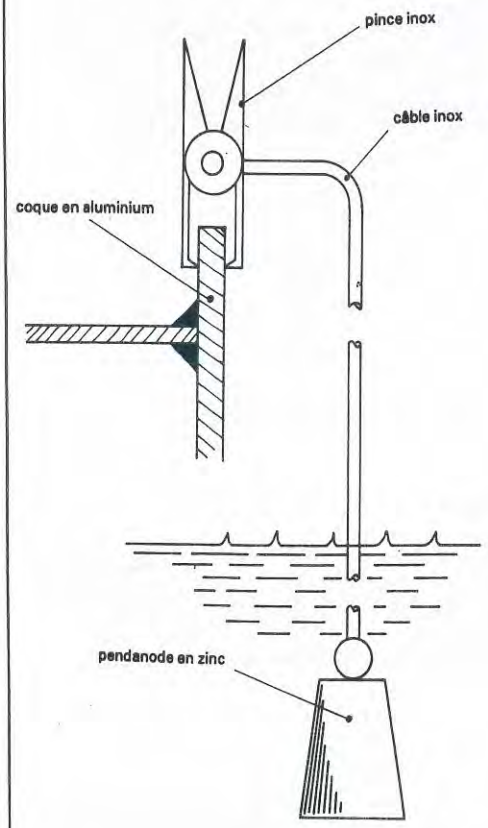
- Une boîte dorade orientable, munie d'une chicane, avec un tube de passage de pont assez haut pour empêcher les eaux de ruissellement d'y pénétrer.
- Une descente verticale protégée par un surplomb fait par la tôle de roof ou le panneau supérieur, coulissant, de la descente.

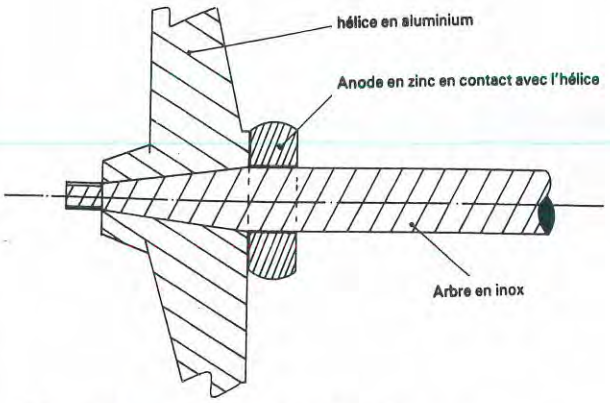
Une isolation sera efficace si :

- Elle touche le bordé métallique et le pont.
- Elle s'arrête un peu en dessous de la flottaison.
- Elle a une épaisseur suffisante.
- Elle enveloppe aussi les goussets d'angle pont-coque et les renforts sous les cadènes.
- Elle évite les ponts thermiques.

Ensuite, qu'elle soit collée ou pas, que le vaigrage soit de type hermétique (en contreplaqué ou moquette) ou aéré (en lattes de

Croquis A 114 : ***Une pendanode***





Croquis A 115 : ***Protection d'une hélice en aluminium par une anode en contact avec elle.***

Peintures	Peintures grasses séchant à l'air				
				Liant résineux	
Propriétés	Grasses	Vernis gras	grasses styrénées	Longs en huile	Courts en huile
Mode d'application (voir légende)	B	B P difficile	BP	BP exceptionnel Tr ou V	
Mode de séchage (voir légende)	A	A	A	A	A
Vitesse de séchage (en heures)	1. 3. av. huile Bois de Chine	2.	3.	3. à 4.	3. à 4.
Toxicité des solvants	Toxicité faible ou nulle				
Pouvoir couvrant (peinture brillante)	2 à 3	2 à 3	3	3 à 4	3 à 4
Adhérence	3	3	3	3 à 5	2 à 4
Souplesse	5 si revêtement récent 3 si revêtement vieilli		4 si récent 1 si vieilli	3 à 5 peut devenir	2 à 4 dépend beaucoup de la formulation
Dureté	2	2 à 3	3 à 4	2 à 3	2 à 4
Résistance à l'abrasion	1	1 à 2	2 à 3	1 à 3	1 à 3
Résistance à la chaleur	3 à 4	3 à 4	2 à 3	1 à 3	1 à 3
Brillant des vernis	3	4	4	3 à 4	3 à 4
Pureté du blanc et des teintes	2	4	4	2 à 4	2 à 4
Tenue à la lumière	2 à 3	3 à 4	4	1 à 4	1 à 4
Résistance aux solvants aliphatiques	3 à 5	3 à 5	3 à 5	2 à 4	1 à 3
Tenue à l'eau chaude	1	1	2	1	1 à 2
Résistance aux produits acides	0 à 2	0 à 2	1 à 3	1 à 2	1 à 4
Résistance aux produits basiques	0 à 2	0 à 2	1 à 3	1 à 2	1 à 2
Résistance aux intempéries — ordinaires				3 à 5 parfois fort 4 à 5 farinage voir tenue lumière	2 à 4 parfois fort 2 à 4 farinage
Résistance aux intempéries — marines ou tropicales	3 à 5 4 à 5	4 à 5 4 à 5	4 4		

Légende :

B : à la brosse
P : pistolet
Tr : trempé
V : à la vernisseuse
A : séchage air
F : séchage four

5. Très bon(ne)
4. Bon(ne)
3. Moyen(ne)
2. Médiocre
1. Mauvais(e)
0 Nul(le)

5. Très grand(e)
4. Grand(e)
3. Moyen(ne)
2. Faible
1. Très faible
0. Nul(le)

(1) VAGH tripolymère d'acétochlorure de polyvinyle et d'alcool vinylique. Si la peinture est riche en VAGH, il faut sous la finition, soit une couche primaire, soit un traitement de conversion.

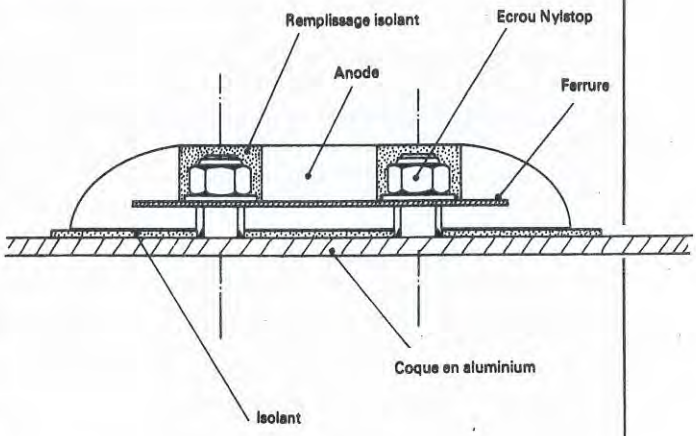
Alkydes et dérivés (glycérophtaliques)							
Séchant à l'air	Séchant au four	Styrénées	Phénoliques	Caoutchouc	VAGH	Urée	Mélamine
BP	BP Tr V		BP Tr si séchage air ou four V si séchage au four			BP Tr V	
A	F	A ou F	A ou F	A ou F	A F except.	F	F
3. à 4.	1 h de 140 à 180° C suiv. résine et formulation	A 4. F 15 mn à 150° C	A 3. à 4. F 16 mn à 150° C ou plus	A 3. à 4. F 15 mn à 150° C	3. à 4.	30 mn de 120 à 180° C	
Si courte en huile	général. 4 étiquette verte	2. à 0	2. à 0	4.	général 4. mais peut être 0	généralement 4. étiquette verte	
4 à 5	4 à 5	3 à 4	3 à 4	2 à 3	2 à 3	4 à 5	4 à 5
3 à 5	4 à 5	3 à 4	4 à 5	4 à 5 sur métal décapé	3	4 à 5	3 à 4
3 à 5	3 à 5	4 à 5	3 à 2 si vieilli	5 à 2 si vieilli	5	3 à 5	3 à 5
2 à 4	4	4	4	4 à 5	4 à 5	4	4 à 5
1 à 3	2 à 3	2 à 3	2 à 3	3 à 4	3 à 4	3 à 4	3 à 4
2 à 4	3 à 4	2 à 3	3 à 4	2 à 3	1 à 2	3 à 4	3 à 4
3 à 5	3 à 5	4	4	3 à 4	3 à 4	5	5
3 à 4	3 à 5	5	3	3 à 5	3 à 4	4 à 5	4 à 5
3 à 4	3 à 5	3 à 5	3	3 à 4	3 à 5	3 à 5	3 à 5
3 à 5	3 à 5	2 à 3	3 à 5	4 à 5	4 à 5	4 à 5	4 à 5
1 à 2	2	2 à 3	3 à 4	2	2	1	2
2 à 3	2 à 3	3 à 4	3 à 4	3 à 4	3 à 4	1 à 2	2 à 3
2 à 3	2 à 3	3 à 4	3 à 4	3 à 4	3 à 4	2 à 3	3 à 4
3 à 5 2 à 5	4 à 5 3 à 5	4 4	3 à 4 4 à 5	3 à 4 4 à 5 si stable à la lumière	4 à 5	3 à 4 2 à 3	4 à 5 3 à 5

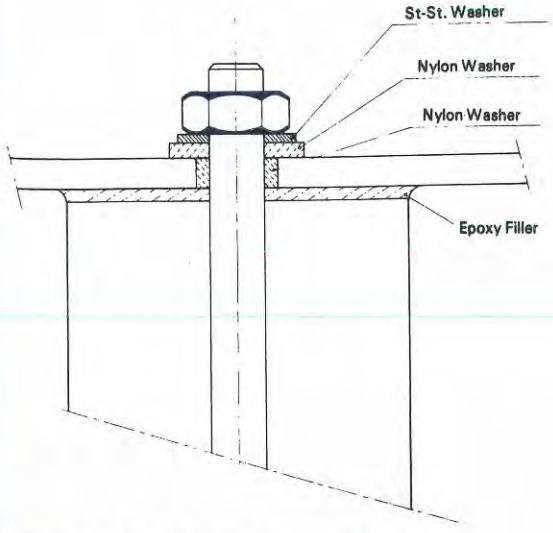
bois), ne sont que des détails sur lesquels je reviendrai plus loin. Les *« problèmes »* d'isolation et aération de l'aluminium sont qualitativement, sinon quantitativement les mêmes. Vous vous reporterez donc avec profit à l'ensemble des chapitres qui traitent ce sujet sur les plans théoriques ou pratiques, destinés aux professionnels ou aux artisans et amateurs. Le distingo se fera, pour le constructeur ou le propriétaire sur des niveaux de qualité de présentation du travail, d'économie, de façon de réaliser ce travail. Chacun bien sûr, professionnel travaillant en série ou amateur bichonnant son propre bateau, apportant des spécificités à la mise en œuvre qui lui donnera satisfaction quant au coût, la vitesse d'exécution et la qualité du résultat.

Il ne faut jamais chercher à appliquer une même technique à tous, mais rechercher les techniques qui s'adaptent le mieux à chacun ! C'est très important et ce doit être votre souci constant, lecteur, propriétaire, architecte et constructeur.

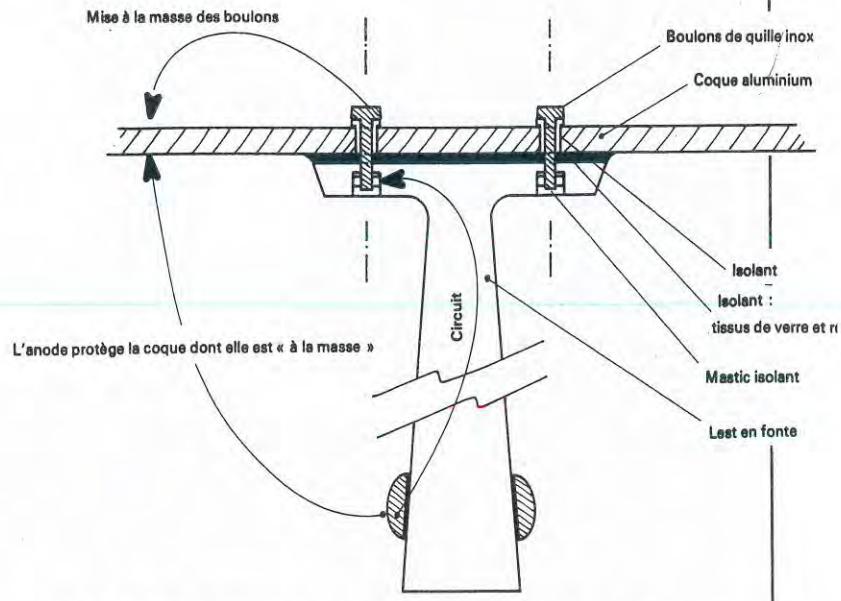
Lucidité et tolérance ! *(Photos A 38, A 39. Croquis A 104 à A 118).*

Croquis A 116 : ***Anode sacrificielle***





Croquis A 117 : ***Fixation boulonnée d'une quille en fonte à une coque en aluminium. Dessin chantier Huisman.***



Croquis A 118 : ***Lest en fonte isolé de la coque. Mise en place des anodes***

21

GÉNÉRALITÉS SUR LA CONCEPTION DU VOILIER EN ALUMINIUM

Peut-on dire que les bateaux sont réservés à un emploi parce qu'ils sont construits dans un matériau plutôt qu'un autre ?

Sans doute non !

Mais chaque matériau par ses qualités confère à un bateau des caractères qui sont des avantages, et par ses points faibles limite plus ou moins l'utilisation possible du bateau.

Ainsi le polyester permet-il la production en grande série d'unités convenant à un très grand nombre, mais sa résistance limitée ne permet pas que ces bateaux se mettent dans des solutions extrêmes où ils seraient fort rudoyés. Des bateaux de grand public seront faits en polyester. Des bateaux d'expéditions difficiles, non !

Par contre, l'acier permettra la construction de bateaux très résistants mais ses cadences de fabrication et la nécessité d'une conception particulière et d'un entretien sinon contraignant, tout au moins nécessaire, n'en permettront pas l'utilisation par tous et chacun.

L'aluminium permet de construire des bateaux homogènes, travaillant parfaitement en flexion, traction et admettant bien les contraintes usuelles du voilier ou du bateau à moteur. Par contre, sa fabrication ne peut se réduire à quelques heures de travail et nécessite une main d'œuvre qualifiée pour ses chaudronniers et soudeurs. Sa ductilité et la grande souplesse de disposition des éléments de structure, sa légèreté et sa raideur en feront le matériau parfait pour la construction de formes difficiles, réalisées en un petit nombre d'exemplaires.

Des bateaux de petite série, des prototypes, des engins spéciaux détaillés au goût de leur propriétaire.

C'est le matériau parfait pour celui qui veut un bateau sortant de l'ordinaire, mais pas trop, nécessitant plus d'attention et de logique que d'entretien. Parfait pour le bateau devant naviguer dans des conditions difficiles mais pas extrêmes. Parfait pour l'unité de course d'une taille déjà importante. Homogénéité, haute limite élastique, bonne résistance définissent cela.

C'est aussi dans ses alliages corroyés le matériau des équipements de pont, légers mais ne travaillant pas à l'arrachement, ce qui est le domaine des aciers inoxydables. C'est le matériau des pièces moulées légères. Ainsi que celui des mâts et des pièces nécessitant élasticité, nervosité, résistance en flexion et légèreté.

Peintures / Propriétés	EPOXY						
	Epoxy urée formol	Ester d'époxy siccavité	Ester d'époxy urée-formol	Epoxy phénolique	Epoxy polyamine	Polyuréthanes	Phénoxy Polyisocyanates
	Epoxy résine de mélamine		Ester d'époxy résine de mélamine				
Mode d'application (voir légende)	BP Tr V	BP	BP Tr V	BP Tr V	BP	BP V exceptionnel	BP
Mode de séchage (voir légende)	F	A	F	F	A	A ou F	A et F
Vitesse de séchage (en heures)	30 mn à 5 h à 180° C	3. à 4.	15 mn, 150° C	de 1 h à 180° C à 30 mn à 230° C	2. à 4.	2. à 4.	A : 2. à 3. F : 1 h, 170° C par ex.
Toxicité des solvants			souvent toxique (4.)			souvent toxique	souvent toxique
Pouvoir couvrant (peinture brillante)	2 à 3	3 à 4	4 à 5	3 à 4	3 à 4	3 à 4	3 à 4
Adhérence	4 à 5	4	4	4 à 5	4 à 5	3 à 5	3 à 5
Souplesse	3 à 4	3 à 4	3 à 5	2 à 4	2 à 5	2 à 5	3 à 5
Dureté	4 à 5	3 à 4	3 à 5	4 à 5	2 à 5	3 à 5	3 à 4
Résistance à l'abrasion	3 à 4	3 à 4	3 à 4	3 à 4	3 à 5	4 à 5	3 à 4
Résistance à la chaleur	3 à 4	3 à 4	3 à 4	4 à 5	2 à 4	2 à 4	4 à 5
Brillant des vernis	3 à 4	4 à 5	4 à 5	4 à 5	4 à 5	4 à 5	4 à 5
Pureté du blanc et des teintes	4 à 5	4	4 à 5	1 à 2	4 à 5	3 à 5	3 à 4
Tenue à la lumière	1 à 3	2 à 3	3 à 4	1 à 2	1 à 2	3 à 5	2 à 3
Résistance aux solvants aliphatiques	4 à 5	3 à 4	3 à 5	4 à 5	4 à 5	4 à 5	3 à 5
Tenue à l'eau chaude	4 à 5 mais sensible à la vapeur d'eau	2	2 à 3	4 à 5	2 à 4	2 à 4	3 à 4
Résistance aux produits acides	2 à 3	2 à 3	2 à 3	3 à 4	2 à 4	2 à 3	2 à 4
Résistance aux produits basiques	3 à 4	2 à 3	2 à 3	3 à 4	3 à 4	3 à 4	2 à 4
Résistance aux intempéries — ordinaires	2 à 3	3 à 4	3 à 4	1 à 2	2 à 3	3 à 5	2 à 3
Résistance aux intempéries — marines ou tropicales							

Légende

B : à la brosse
P : pistolet
Tr : trempé
V : à la vernisseuse
A : séchage air
F : séchage four

5. Très bon(ne)
4. Bon(ne)
3. Moyen(ne)
2. Médiocre
1. Mauvais(e)
0. Nul(le)

5. Très grand(e)
4. Grand(e)
3. Moyen(ne)
2. Faible
1. Très faible
0. Nul(le)

Mais pour bien concevoir un bateau en aluminium il faut prendre en considération un certain nombre de paramètres parfois contradictoires et qui imposent des limites à la création. Plusieurs écoles s'affrontent sur certains de ces paramètres selon qu'elles y attachent de l'importance ou pas.

Longévité

Une publicité disait dans le passé qu'un bateau en aluminium durait l'éternité. Les alliages d'aluminium résistant à l'atmosphère marine sont stables et vous verrez ce qui est dit de la nécessité ou pas de peindre ce matériau auto-patinable.

Peintures		Vinyliques			Acryliques	
Propriétés		Caoutchouc chloré	Copolymère vinylique chloré	Organosol	Métacrylique	Thermo durcissable
Mode d'application (voir légende)		P Tr V	P Tr V	P Tr	B P Tr V attention au trempé	B P Tr V
Mode de séchage (voir légende)		A	A	F	A et F	F
Vitesse de séchage (en heures)		4.	4.	5 mn à 150-190° C	A 3 à 4 F 15 mn, 150° C	30 mn, 80° C
Toxicité des solvants		toxique 4.	souvent toxique 4.	généralement 0 parfois 4.	généralement toxique (4.) mais peut-être non toxique (0)	
Pouvoir couvrant (peinture brillante)		1 à 2	2 à 3	3 à 4	1 à 3	3 à 4
Adhérence		2 à 4	1 5 avec impression spéciale	5 avec impression spéciale	1 à 4	4
Souplesse		2 à 4	3 à 5	3 à 5	1 à 5	2 à 4
Dureté		4 à 5	3 à 4	2 à 5	2 à 4	3 à 4
Résistance à l'abrasion		3 à 4	3 à 4	3 à 4	1 à 3	2 à 3
Résistance à la chaleur		2 à 3	1 à 2	2 à 3	3 à 4	3 à 4
Brillant des vernis		1 à 2	1 à 2	2 à 3	3 à 4	4
Pureté du blanc et des teintes		3	4	3	5	5
Tenue à la lumière		2 à 4	1 à 5	1 à 5	5	2 à 5
Résistances aux solvants aliphatiques		3 à 5	3 à 5	3 à 5	0 à 4	3 à 5
Tenue à l'eau chaude		2 à 4	2	2	1 à 2	4 à 5
Résistance aux produits acides		3 à 4	3 à 4	3 à 4	2 à 4	2 à 4
Résistance aux produits basiques		3 à 4	3 à 4	3 à 4	2 à 4	3 à 4
Résistance aux intempéries	ordinaires	3 à 4	3 à 4	3 à 4	3 à 4	3 à 5 expérience seulement en vieillissement accéléré
	marines ou tropicales				4 à 5	

Légende
B : à la brosse
P : pistolet
Tr : trempé
V : à la vernisseuse
A : séchage air
F : séchage four

5. Très bon(ne)
4. Bon(ne)
3. Moyen(ne)
2. Médiocre
1. Mauvais(e)
0. Nul(le)

5. Très grand(e)
4. Grand(e)
3. Moyen(ne)
2. Faible
1. Très faible
0. Nul(le)

Elasticité

Un atout de l'aluminium mis en avant par les fournisseurs est sa limite d'élasticité. Le module d'élasticité de l'aluminium (alliages pour construction navale) est de 7.100 kg/mm². Ce qui revient à dire que les alliages d'aluminium peuvent donc être qualifiés de résistants aux chocs.

D'un autre côté, on peut répondre que cette déformabilité est gênante car le bateau se « cabosse » facilement s'il ne rompt pas ! Et le métal déformé puis remis à son aspect d'origine aura perdu de ses qualités premières. Les alliages d'aluminium seront quoi qu'il en soit réputés pour leur excellente résistance.

Le formage

La mise en formes de l'aluminium est critiquée par certains car cette transformation à froid du métal en transforme la structure cristalline en l'écrouissant. Par contre le soudage des tôles entre elles est un recuit. Certains architectes et constructeurs accordent à cela une importance telle qu'ils renoncent à mettre en formes « *l'aluminium* », j'entends ses alliages propres à la construction navale. Ils construisent des coques à bouchains développables ou proches du développement naturel.

Fatigabilité et tension

La mise en tension et des cycles de contraintes répétés subis par cette pièce mise en tension peuvent amener une rupture dite de fatigue. Certains remarquent qu'une tôle tendue par un formage a une inertie supérieure à une tôle plane peu tendue qui va peut-être se fendre sous l'action de ces contraintes cycliques. La mise en formes serait une précaution contre cette rupture. La présence de chlorures étant un facteur aggravant.

CHOIX DE COULEUR ET ISOLATION

L'aluminium est excellent conducteur thermique, phonique et électrique.

Electrique on le sait et il faut bien isoler le cricuit d'électricité.

Un bateau en aluminium plus encore qu'un bateau en acier, doit être peint de couleurs claires. Surtout son pont qui sera en beige clair, bleu clair, et toute teinte pastel très claire, sachant que le blanc pur est trop éblouissant. Une teinte claire réfléchit le rayonnement du soleil et n'emmagasine qu'un minimum de chaleur. Une teinte sombre au contraire ! Une expérience sera vite concluante. Laissez au soleil un carré de tôle peint en blanc. Un autre peint en orange ou bleu moyen ; un troisième en brun foncé, bleu marine... ou noir. Ce dernier sera brûlant quand le premier sera frais et le second tiède.

De même, on choisira un revêtement de pont isolant, à base de liège, et de couleur claire.

A l'intérieur du bateau, il faudra isoler la paroi conductrice d'aluminium par une sérieuse épaisseur de mousse. **Toutes les indications données dans le Manuel de Construction Amateur pour l'acier sont valables pour l'aluminium. La différence réside dans le fait que la structure en aluminium sera en général faite** de profilés en L et T. Leur aile contre laquelle le vaigrage sera fixé, sera percée de trous taraudés. Le vaigrage y sera vissé. Il sera constitué de lattes ou de panneaux de contre-plaqué.

De même pour éviter que l'eau de condensation qui pourrait cependant s'être accumulée s'écoule vers les fonds il faudra percer les lisses de demi-lunes du côté du bordé ainsi que c'est expliqué également dans le Manuel de Construction.

L'aération

Pour compléter l'action de l'isolation une bonne aération sera le gage de bonne conservation des peintures, du métal, du bois des aménagements, des vivres et de l'équipement.

Il faudra deux aérateurs par poste de vie ; un panneau éclairant ne comptant pas en tant qu'aérateur ! Deux dorades ou une dorade et un aérateur fixe. Une dorade travaille en dépression, tournée « *dos* » au vent.

Portes de placards et d'équipets, dessus de couchettes et fonds d'équipets et de meubles laisseront passer l'air. Pour cela, ils seront munis de grilles d'aération ou faits de cannage ou de caillebottis.

DIVERSES PRECAUTIONS

Il demeure que l'aluminium est un métal. Dans la conception du bateau en alliage d'aluminium, il faudra :

- songer aux transformations cristallines à froid,
- songer aux modifications à chaud (soudage),
- éviter les angles compliqués sources de ragages,
- veiller à ce qu'on puisse accéder en tout point du bateau pour bien souder et bien contrôler qu'aucune corrosion ne se développe dans une zone cachée ou un volume qu'on croit à l'abri des salissures ou des agents agressifs parce qu'on l'aurait condamné,
- veiller à toutes les formes de corrosion y compris la corrosion galvanique qu'on évitera le plus sûrement en remplaçant toute pièce d'un autre métal par un équipement en alliage d'aluminium sachant cependant qu'entre les alliages eux-mêmes il y a des couples galvaniques mineurs,
- veiller à un équipement électrique parfaitement isolé ou mis à la masse avec un grand luxe de précautions,
- songer que les frottements répétés avec des métaux plus durs usent l'aluminium. Par exemple, l'échantillonnage des cadènes doit être particulièrement généreux et au maximum permis par la largeur intérieure des chapes de ridoirs. Ce qui d'ailleurs par contrecoup a fait naître une nouvelle génération de ridoirs à chape large maintenant universellement utilisés,
- veiller à l'écoulement de l'eau vers le fond, et là, vers un point bas.

Pour cela il faudra découper dans les lisses du bordé des encoches en demi-lune du côté des tôles pour que d'éventuelles eaux de condensation n'y stagnent pas. Il faudra aussi ménager des anguillers à

		Brais				Cellulosiques	
Peintures / Propriétés		Vernis	Poudre d'aluminium	Epoxy polyamines	Nitrocellulosique	Nitrosynthétique	
Mode d'application (voir légende)		B P Tr V	B P Tr V	BP spatule	P Tr V	B P Tr V	
Mode de séchage (voir légende)		A	A	A	A	A	F
Vitesse de séchage (en heures)		2. à 3.	2. à 3.	2. à 3.	4.	3. à 4.	30 mn-1 h à 100-120° C
Toxicité des solvants		0 à 4 souvent toxique	0 à 4 souvent toxique	sans solvant	souvent toxique étiquette verte		
Pouvoir couvrant (peinture brillante)		4	5	4 à 5	2 à 3	3 à 4	3 à 4
Adhérence		1 à 3	1 à 3	4 à 5	1 à 4	3 à 4	3 à 4
Souplesse		1 à 5	3 à 5	3 à 5	1 à 3	2 à 3	3
Dureté		Généralement 1 à 2. Peut être 4 avec brai modifié aux résines	1 à 3	4	3 à 4	3 à 4	3 à 4
Résistance à l'abrasion		0 à 2	1 à 3	2 à 4	2 à 3	2 à 3	2 à 3
Résistance à la chaleur		1 à 4	1 à 2	2 à 4	1 à 2	2	2
Brillant des vernis		1 à 3	3 à 5	4	3 à 5	3 à 4	3 à 4
Pureté du blanc et des teintes		1	teinte aluminum	1	4 à 5	3 à 4	3 à 4
Tenue à la lumière		1 à 3	4	2 à 3	2 à 4	3 à 4	3 à 4
Résistance aux solvants aliphatiques		0 à 3	0 à 3	3 à 4	3 à 4	3	3 à 4
Tenue à l'eau chaude		0 à 4 suivant point fusion brai et si résine	0 à 3	4	1 à 4	1 à 2	1 à 2
Résistance aux produits acides		3 à 4	2 à 3	3 à 4	2 à 3	2 à 3	2 à 3
Résistance aux produits basiques		3 à 4	1 à 2	3 à 4	2 à 3	2 à 3	2 à 3
Résistance aux intempéries	ordinaires	1 à 4 suivant filler et origine du brai	3 à 4	1 à 3	1 à 3	2 à 3	2 à 3
	marines ou tropicales				1 à 3	3 à 4	3 à 4

Légende

B : à la brosse
P : pistolet
Tr : trempé
V : à la vernisseuse
A : séchage air
F : séchage four

5. Très bon(ne)
4. Bon(ne)
3. Moyen(ne)
2. Médiocre
1. Mauvais(e)
0. Nul(le)

5. Très grand(e)
4. Grand(e)
3. Moyen(ne)
2. Faible
1. Très faible
0. Nul(le)



Photo A 42 : *Construction à l'envers, quille bâtie « in-situ ».*

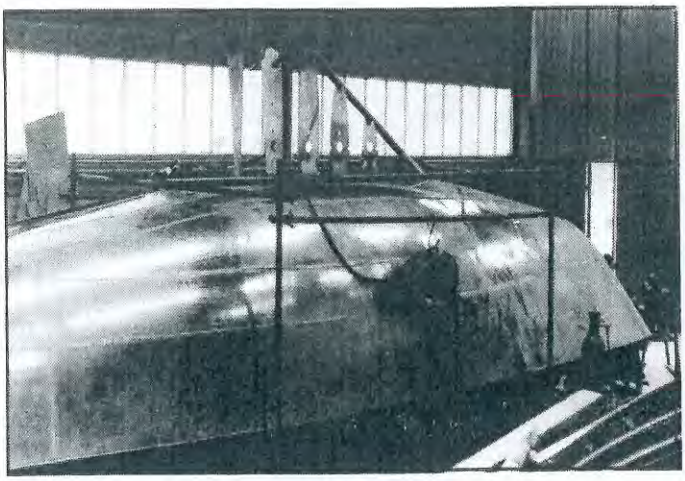
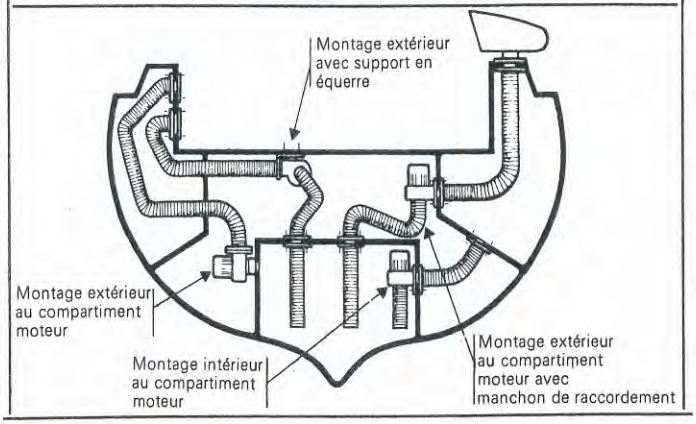


Photo A 41 : *Le long du livet, une cornière «tient » les tôles de la coque, et évitera leur déformation lors du soudage du pont.*

Différentes possibilités de montage du ventilateur



Croquis A 119 : *L'aération, en plus de l'isolation, d'un bateau métallique, est une condition essentielle à la longévité.*
Dessin Plastimo

tous les nœuds de structure dans les fonds et si possible doter le bateau d'un point bas d'aspiration de l'eau, ce qui sera plus facile dans la quille d'un quillard que dans les fonds plats d'un dériveur.

En fait, c'est l'ensemble de l'étude sur l'aluminium qui pourrait s'intituler *« conception du bateau en alliage léger » !* Car de chacun de ces chapitres le lecteur perspicace déduira les caractéristiques qui apporteront des qualités au bateau en voie de conception, ou prendra conscience des précautions qu'il lui faudra prendre pour ménager le bon état du bateau en « alu » qu'il utilise chaque week-end.

La double vocation de cette étude étant de permettre au concepteur et au constructeur de choisir le bon métal pour le bateau qu'il envisage de créer, et de donner à l'usager qui possède déjà un bateau en aluminium des conseils pour l'équiper, l'entretenir et comprendre la raison d'être des détails qu'il y a remarqués sans comprendre leur nécessité.

Il faut bien le dire, l'aluminium est source de polémiques bien plus que la plupart des autres matériaux. Il faut rendre à ce métal la justice que c'est sa mise en œuvre qui est la cause de ces polémiques plus que ses caractéristiques propres.

RÉSISTANCE GLOBALE

On appelle résistance globale la somme de la résistance longitudinale et de la résistance transversale.

Lorsqu'on échantillonne un bateau, voilier ou bateau à moteur, selon les nécessités de résistance longitudinale, on constate qu'en général la résistance transversale est largement surabondante. On ne s'occupe donc généralement de la résistance longitudinale.

On assimile ainsi la coque et le pont du bateau à une poutre, ou à un ensemble de poutres, soumises à des efforts de différents types :

- efforts de flexion dus au poids,
- efforts de flexion dus au gréement.
- efforts de flexion dus à la poussée hydrostatique.

On peut figurer ces contraintes par des courbes et en déduire les efforts locaux, à chaque section de renforcement.

- **La première courbe** est celle des poids des différentes zones du bateau.
- **La seconde courbe** est celle de la poussée hydrostatique.
- **La troisième courbe** est la résultante des deux premières.
- **La quatrième**, intégration de la précédente, est la courbe des efforts tranchants.
- **La cinquième** est celle des moments fléchissants. C'est l'intégrale de la quatrième courbe.

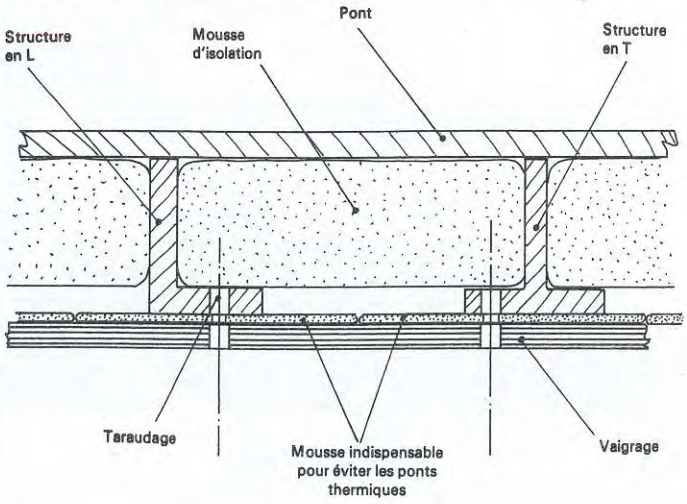
L'intégration du bateau à une poutre de formes simples, corrigée par les efforts modulés de la flottabilité et des poids, permet le calcul rapide des nécessités locales. On en déduit les échantillonnages.

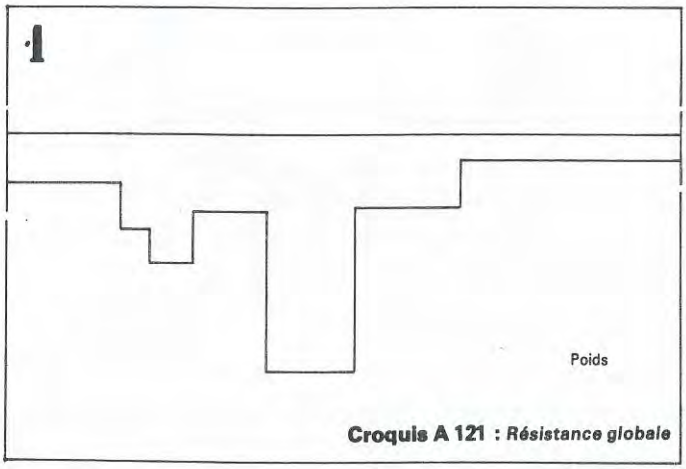
Personne, à partir de là, ne nie l'importance de l'expérimentation et de l'expérience.

LA CONCEPTION DU BATEAU

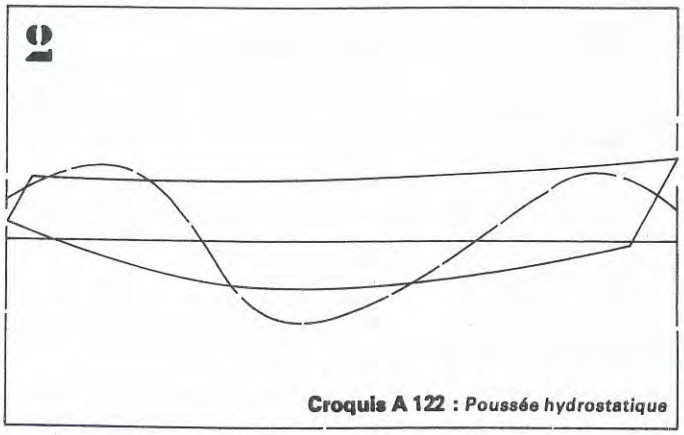
1 — Cahier de charges établi en fonction du programme du bateau par l'architecte, le constructeur ou le propriétaire, ou par les trois à la fois.
2 — Avant-projet général.
3 — Estimatif des poids et dimensionnement prévisionnel.
4 — Premier jet du plan des formes.
5 — Premiers calculs d'échantillonnages et de puissance de moteur pour une vedette.
6 — Vérification du devis de poids.
7 — Vérification et modification du plan des formes.
8 — Ajustement des calculs précédents (5).
9 — Calculs de stabilité et essais éventuels en bassin.
10 — Confirmation ou infirmation de 5 et 7.
11 — Finition des points 5, 7 et 8, 9.
12 — Aménagements intérieurs et disposition de pont.
13 — Plans de construction par l'architecte.
14 — Homologation et classification.
15 — Plan d'exécution par le chantier.
16 — Commercialisation.

Croquis A 120 : *Disposition de la mousse d'isolation avec une structure de pont ou de coque en profilés T, L, U, Ω, etc.*

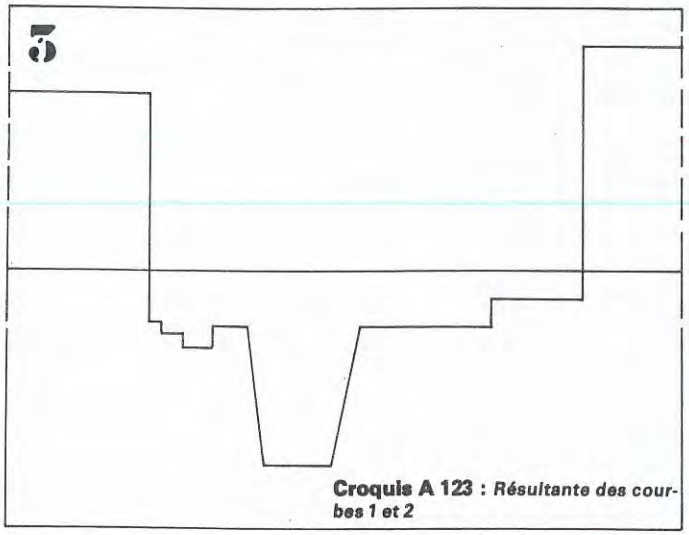




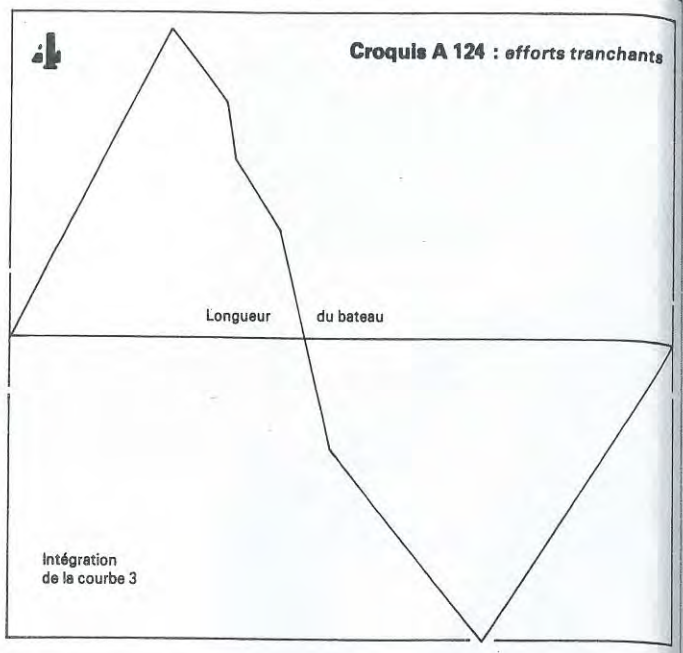
Croquis A 121 : *Résistance globale*



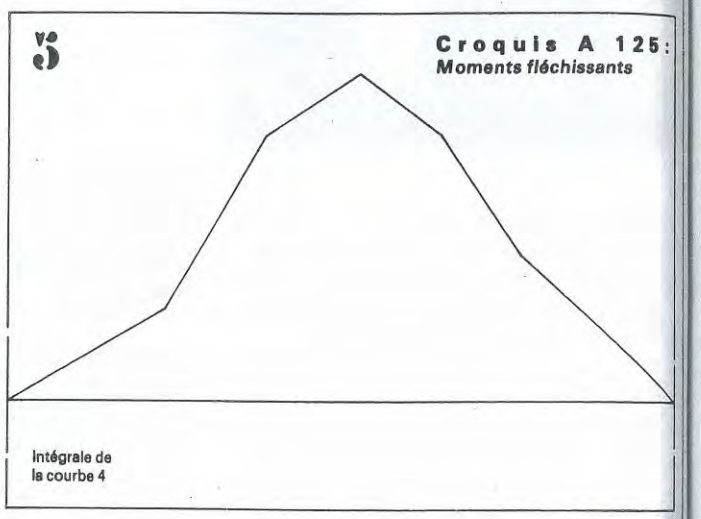
Croquis A 122 : *Poussée hydrostatique*



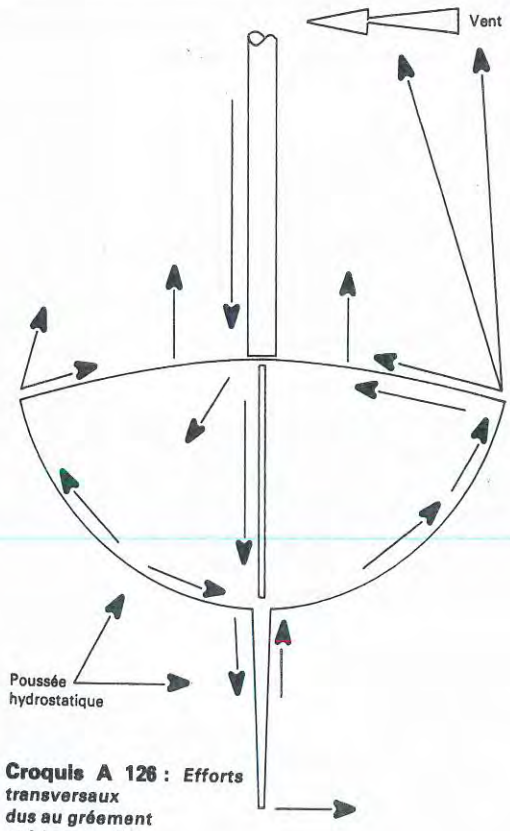
Croquis A 123 : *Résultante des courbes 1 et 2*



Croquis A 124 : *efforts tranchants*



Croquis A 125 : *Moments fléchissants*



Croquis A 126 : *Efforts transversaux dus au gréement et à la poussée hydrostatique.*

Expérience personnelle de chaque architecte à travers ses propres créations, et expérience globale par la culture générale de chacun, sa connaissance des bateaux construits par les confrères.

Chaque bateau est la somme de la culture personnelle de chaque architecte et de la culture générale de la profession.

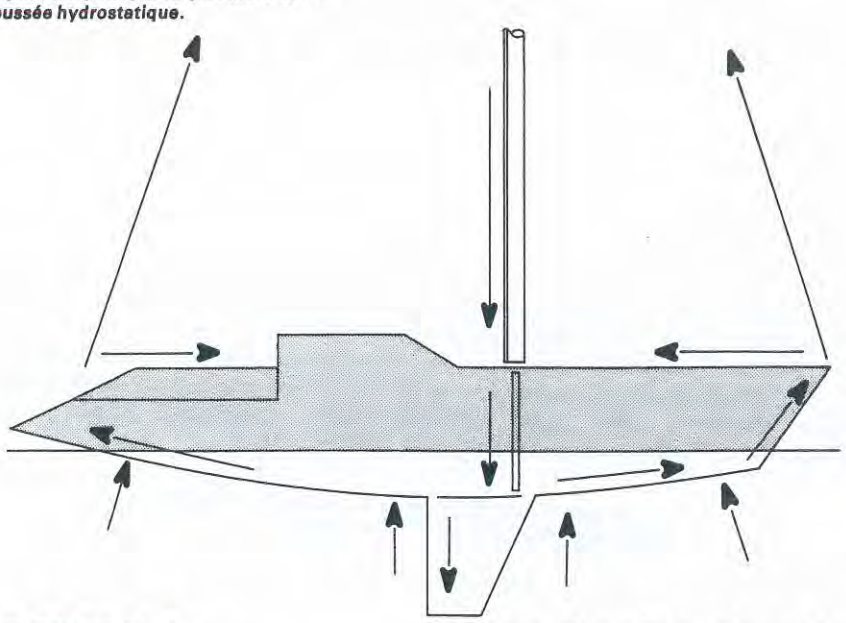
LA FATIGUE DE L'ALUMINIUM

Lorsqu'une pièce subit une série de contraintes répétées alternativement bien qu'aucune fois la contrainte n'atteigne la valeur de rupture, on finit par assister à un vieillissement et à une rupture plus ou moins rapides.

Cette rupture est appelée rupture de fatigue ou rupture fragile, après des cycles d'efforts dits alternés ou séquents.

Voici les résultats de deux séries de tests effectués par Cegedur.

Croquis A 127 : ***Visualisation des efforts longitudinaux produits sur la coque et le pont par le gréement et la poussée hydrostatique.***



FATIGUE EN FLEXION ROTATIVE

Ces essais sont faits sur une machine Alkan sur des barres étirées de diamètre 20 à 22 mm.

Ils montrent l'intérêt de ne pas rayer, entailler ni blesser le métal lors de la mise en œuvre. Ces rayures provoquent l'apparition de concentrations de contraintes qui diminuent la résistance à la fatigue.

	Résistance à la fatigue à 10^4 cycles à 50 % de la rupture, en N/mm²	
Alliage	Eprouvettes lisses	Eprouvettes entaillées
5754 0	± 105	± 50
5086 0	120	55
5083 0	125	60
6060 T5	90	45
6005 A T6	110	45
6061 T6	115	40
6082 T6	130	35

Flexion plane alternée

Ces essais ont été faits sur des plats de 100 × 12 ou des tôles de 12 mm d'épaisseur.

	Résistance à la fatigue à 10 cycles à 50 % de la rupture, en N/mm	
Alliage	Métal non soudé	Métal soudé, cordon arasé
5754 HIII	± 85	80
5086 HIII	90	85
5083 HIII	95	90
6005 A T6	85	75
6061 T6	90	80
6082 T6	90	80

Ces essais ont mis en évidence l'amélioration de la résistance d'un joint soudé lorsqu'on arase le cordon de soudure par martelage ou brossage rotatif. A condition naturellement que le cordon ne recèle ni inclusions, ni porosités qui alors deviennent des amorces d'entailles affaiblissant considérablement le joint.

Chaque mois, dans le mensuel Loisirs Nautiques, des articles techniques, bricolage et de croisière.

LE PRINCIPE DE LA RUPTURE DE FATIGUE

Imaginons une quille ou un aileron de gouvernail mal alignés. Le bateau avançant, les filets d'eau entament un mouvement de lacets qui « *tortillent* » la tôle à laquelle l'aileron ou la quille sont suspendus. Se balançant de droite à gauche l'appendice tantôt pousse la tôle de gauche en tirant celle de droite, tantôt inverse son action. La tôle est soumise à un cycle plus ou moins rapide et puissant de compressions avec flexion absorbant cet effort et tractions qui aplanissent la tôle fléchie à l'effort inverse précédent. Cela peut durer longtemps. Mais que survienne en plus une corrosion électrolytique dont les lignes de force vont s'appliquer à ces endroits sollicités, et on assiste à une concentration de contraintes difficiles à soupçonner, une perte de matière et, un jour, à l'explosion d'un côté du métal suivie aussitôt par la déchirure du côté opposé. Les fonds de ce bateau présenteraient alors deux fentes parallèles à l'axe, nettes et droites.

Rupture fragile par modification cristalline ou plutôt par modification au niveau du grain.

C'est l'hypothèse la plus plausible au naufrage en 1980 d'un OVNI 35. On l'évite en évitant la flexion du métal par la pose de renforts transversaux.

La rupture est d'autant plus brutale que les caractéristiques de l'alliage sont élevées. On rencontre le même phénomène avec les aciers spéciaux et les aciers à hautes caractéristiques. Ce qui fait que dans l'état actuel de la technique, on a tout intérêt à se cantonner aux alliages et aux aciers ne présentant qu'un bon compromis résistance-limite élastique.

Cegédur oriente une partie de ses travaux de recherche vers la fabrication d'alliages à hautes caractéristiques mais aussi à haute ténacité évitant cette rupture fragile brutale.

CONSOMMATION D'ÉNERGIE

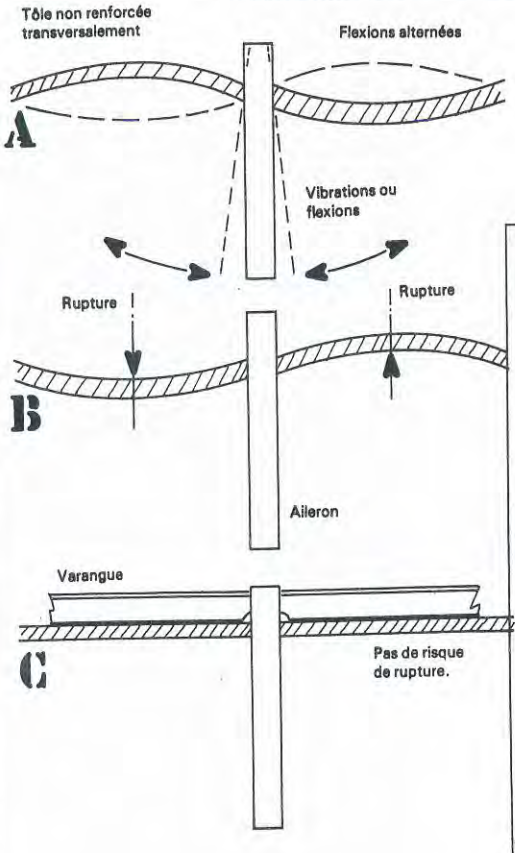
Ce tableau indique la quantité d'énergie que l'homme doit mettre en œuvre pour produire une tonne de chacun des matériaux suivants comparée à la quantité d'énergie dépensée pour réaliser une poutre de Une Unité de rigidité avec chacun d'eux.

Matériau	Énergie dépensée par tonne de matériau en tonnes d'équivalent-pétrole	Énergie nécessaire pour réaliser une poutre $\frac{P \times d}{E}$
Acier	1,5	50
Titane	20	650
Aluminium	6	200
Stratifié de verre	0,6	85
Béton	0,10	15
Stratifié de carbone	100	850
Spruce	0,025	1
Polyéthylène	0,10	—

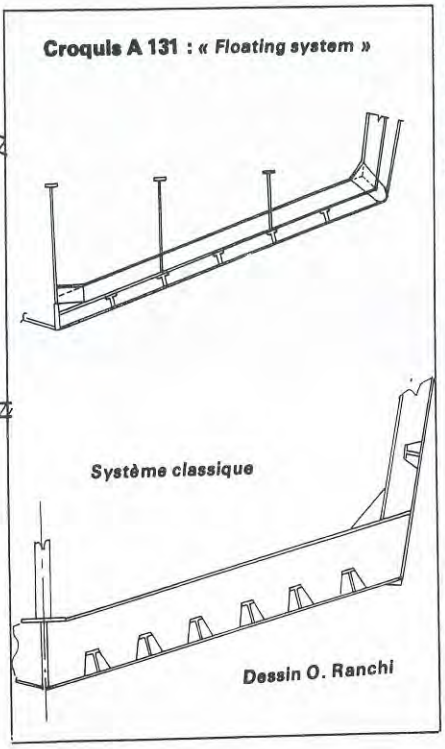
Ce tableau donne une idée très claire du coût de production (colonne de gauche) et de mise en œuvre (colonne de droite) de ces divers matériaux.

On note que si le béton et surtout le bois remportent le pompon, pour ce dernier n'est pas incluse la main d'œuvre dont on sait qu'elle est spécialement coûteuse, les métaux usuels sont bien placés face aux métaux sophistiqués et aux fibres *« exotiques ». (Photos A 41 à A 42. Croquis A 119 à A 128).*

Croquis A 128 : ***Principe de la rupture par cycles de flexions alternées et moyen d'y remédier.***



Croquis A 131 : ***« Floating system »***



22

PRINCIPAUX TYPES DE STRUCTURES EN ALUMINIUM

Comme il n'existe pas un type étroit de bateaux en aluminium, mais autant que de programmes, on peut s'attendre à rencontrer tout autant de modèles de structures. De fait à chaque programme de bateau correspondant un ou plusieurs types de structures.

GENERALITES SUR LES PROGRAMMES DES BATEAUX

Les grandes catégories de bateaux en aluminium sont, jusqu'à la limite d'étude des 25 mètres :

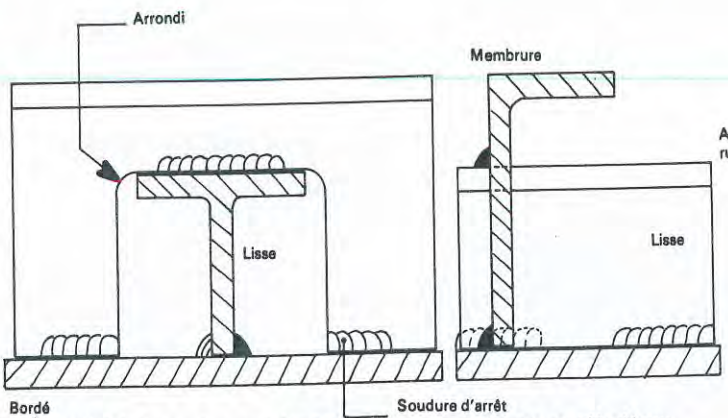
- les vedettes de petite taille
- les vedettes de croisière
- les petits voiliers côtiers
- les voiliers de croisière
- les voiliers devant être très chargés pour de lointaines navigations
- les voiliers de course.

Les voiliers côtiers et de croisière ainsi que les unités de longues navigations pouvant avoir une vocation économique. On peut y ajouter une volonté de construction simplifiée par des chantiers artisanaux voire des amateurs.

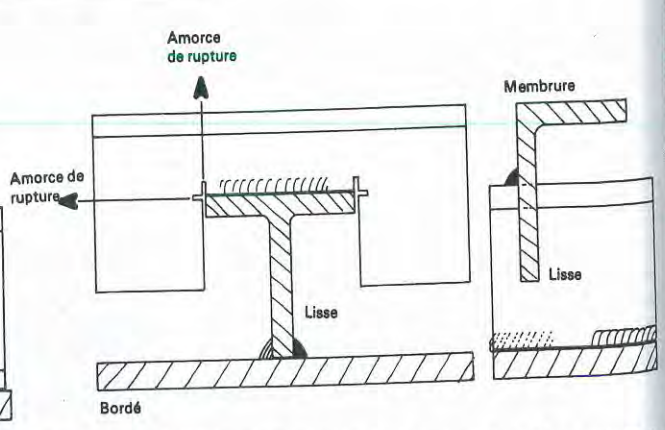
LES TYPES DE STRUCTURES

Les grandes catégories de structures sont :

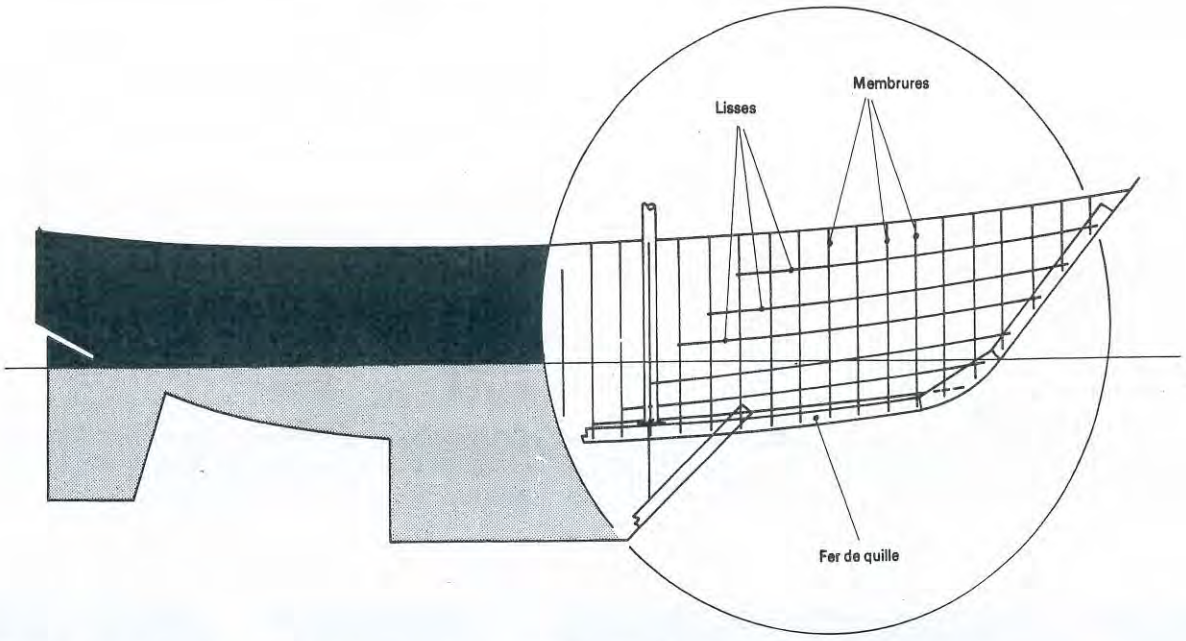
- les structures sur renforts transversaux dites sur membrures, dites aussi classiques, « Custom Building »
- les structures sur lisses, les éléments transversaux étant plus rares et ne tou-



Croquis A 130 : ***Encastrement des lisses dans les membrures en tôle découpée ou en cornière d'une structure mixte.***



Croquis A 132 : ***Des traits de scie trop longs créent des amorces de rupture de la structure.***



Croquis A 129 : *Variante de structure sur membrures avec renforcement de l'étrave par des lisses : on trouve cette variante en Hollande.*

chant pas le bordé. Ces structures sont aussi appelées « Floating System » car le bordé est assimilé à un bordé flottant

● les structures mixtes où le bordé repose sur les lisses longitudinales et sur les membrures et autres renforts transversaux

● le bordé « Strongall » du chantier *Meta*. Il s'agit d'une construction faite sur un gabarit. Le bordé en *tôles épaisses* repose sur un très petit nombre de renforts transversaux. La construction Strongall fait l'objet d'un *dépôt de brevet* qui témoigne de son originalité et de sa primauté. Elle est très copiée depuis quelque temps et il en existe maintenant des sous-variétés à tôles plus ou moins épaisses sans ou avec structure. C'est la construction dite « *à tôles épaisses* ».

QUEL TYPE DE STRUCTURE POUR QUEL TYPE DE BATEAU ?

Chaque type de structure possède un ensemble de caractères favorables ou pénalisants qui font qu'il s'adapte mieux à certains modèles de bateaux qu'à d'autres.

Avant de développer ces caractères, voici la liste des correspondances des structures aux différents programmes de conception des bateaux.

● **Petites vedettes à moteur** : structures en *Floating System* ou mixtes.

● **Grandes vedettes** : *Floating System* généralement. Mais on trouve aussi des structures mixtes et transversales.

● **Petits voiliers côtiers** : stuctures sur lisses ou mixtes.

● **Voiliers de navigation lointaine** : stuctures sur lisses, mixtes ou en tôles épaisses.

● **Voiliers de course** : structures transversales ou mixtes.

● **Constructions économiques** : structures en Floating System, sur lisses.

Pourquoi ?

Le développement suivant sur les caractères de chaque principe de structure explique les raisons de ces choix.

STRUCTURE TRANSVERSALE

Le bordé en formes ou à bouchains, repose sur les membrures et barrots ainsi que sur le varangage de fonds. Je vous invite à consulter le chapitre correspondant de l'étude des structures en acier car le problème de fonds est identique.

Les membrures seront en gros espacées de 30 à 55 cm.

Les varangues sont surtout nombreuses sur la longueur de la quille.

Ce type de structure est le plus apte à recevoir les efforts spécifiques d'une quille à grand allongement, d'un fort rapport de lest, du haubannage latéral.

Lorsque le mât appuie au centre du bateau et qu'on raidit l'étai et le pataras, on tend à creuser la coque, à soulever l'étrave et l'arrière, à resserrer les côtés (à cause du haubannage latéral) et à écarter le pont de la coque.

Une structure transversale qui supprime les déformations latérales empêche aussi les déplacements longitudinaux. Ces structures sont les plus légères.

Les membrures seront constituées de profilés en L, parfois en T, souvent en tôles découpées et renforcées d'un bord soudé. C'est le modèle de structure des bateaux puissants pour le près, voiliers de jauge internationale, par exemple.

L'inconvénient est un grand nombre d'heures de travail et un coût élevé.

L'avant de tels bateaux est parfois raidi par un système mixte comportant des lisses en diagonale. On peut ainsi trouver un ou deux importants renforts longitudinaux à mi-bordé, les serres.

STRUCTURE MIXTE

L'espacement des membrures est multiplié par trois environ, et l'écartement des lisses longitudinales est analogue à celui des membrures des structures transversales, une trentaine de centimètres. La lisse la plus proche du mi-bordé est parfois plus épaisse et joue alors le rôle d'une serre.

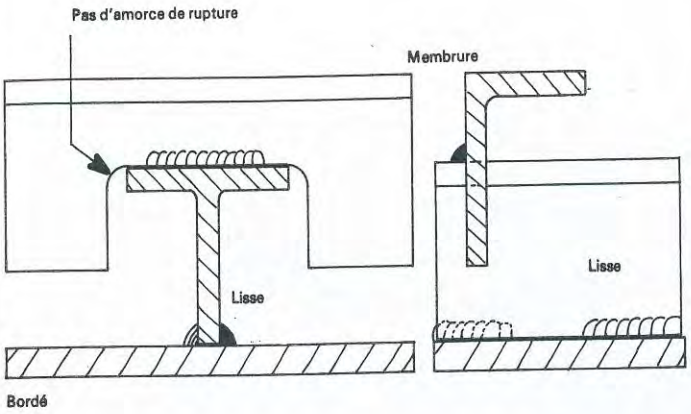
La particularité de ces structures est que tous les éléments structuraux touchent le bordé auquel ils sont chenillés au pas de pélerin, en quinconce.

Ce type de structure est assez bâtard, mais convient bien à des voiliers légers non destinés spécifiquement à la course. Leur quille est moins profonde, les efforts transversaux moindres. Ils sont moins souqués et nécessitent moins une structure spécifique. Leur rapport de lest est moindre. Un 12 mètres de jauge internationale peut avoir 75 à 80 % de lest de plomb. Un voilier de 19 mètres pour la croisière rapide n'aura souvent que 30 % de lest en plomb ou fonte.

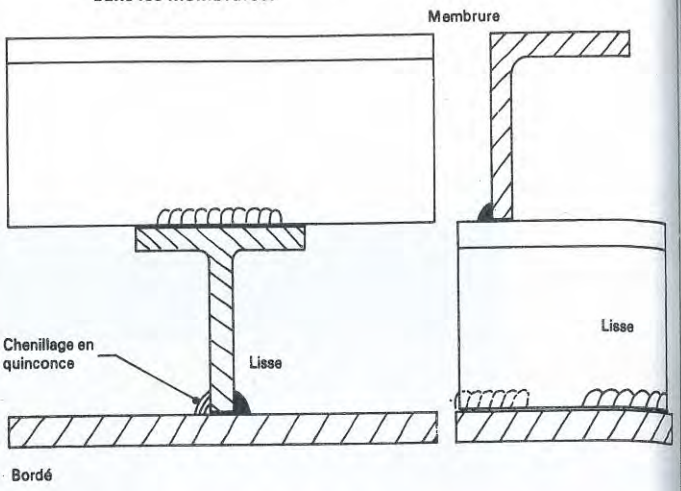
Ces structures sont plus lourdes que des structures transversales mais bien moins coûteuses.

Vous lirez dans ces mêmes chapitres de la construction acier, une note sur le tracé des transversales d'une coque à double bouchain. Les sections transversales d'une carène à bou-

Croquis A 133 : *Encastrement des éléments d'une structure sur lisses évitant des amorces de rupture dans les éléments entaillés.*



Croquis A 134 : *Structure sur lisses sans encastrement des lisses dans les membrures.*



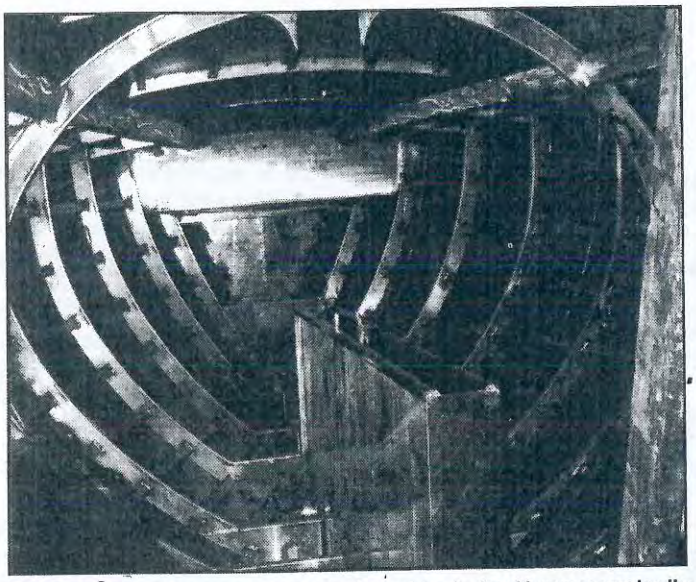


Photo A 43 : *« Exemple de construction mixte. Le bordé repose sur les lisses et les membrures ».*
Photo Dugardin.

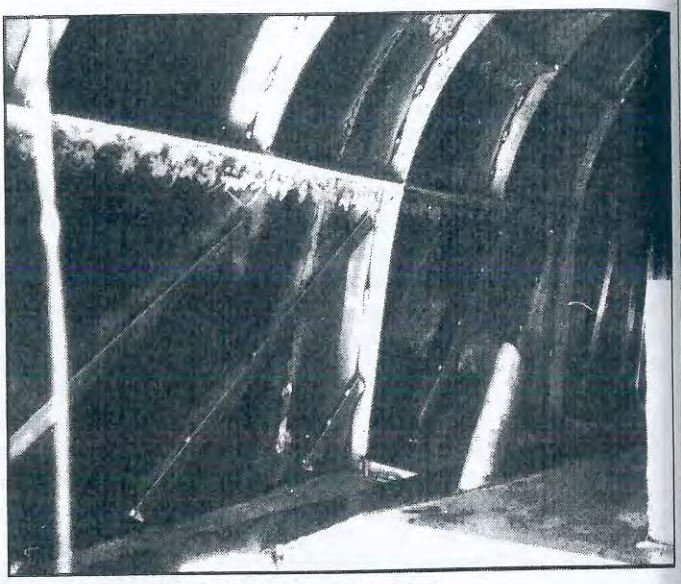
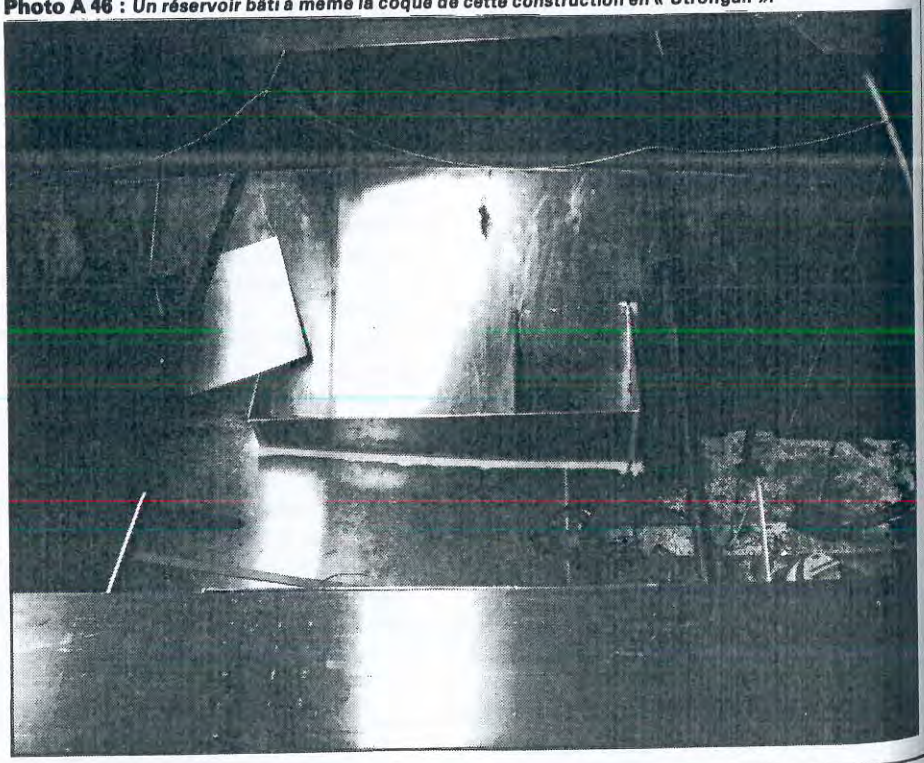


Photo A 48 : *« Détail de structure rayonnante ».*

Photo A 46 : *Un réservoir bâti à même la coque de cette construction en « Strongall ».*



chains vifs ne présentent pas des droites, mais des courbes.

Un ordinateur facilite l'obtention de ces courbes exactes. Mais c'est là un faux problème, car il est bien plus intelligent d'éviter des découpes aussi difficiles que de chercher un moyen, coûteux, pour en obtenir le profil. Or, il existe des méthodes basées sur l'emploi des lisses qui évitent d'avoir à cintrer les membrures et gagnent de précieuses heures de travail.

La paille et la poutre en fait !

« Au chantier *Brument* depuis 1975 *nous faisons construire des bateaux en semi-formes avec des membrures droites !! Mais chut, il ne faut pas le répéter* ». Ces remarques valent pour la construction de bateaux à brisures vives ou bouchains vifs. Naturellement, le pourtour des membrures des bateaux en formes est fait de courbes. Les lisses sont des T ; les membrures des L ou des tôles découpées.

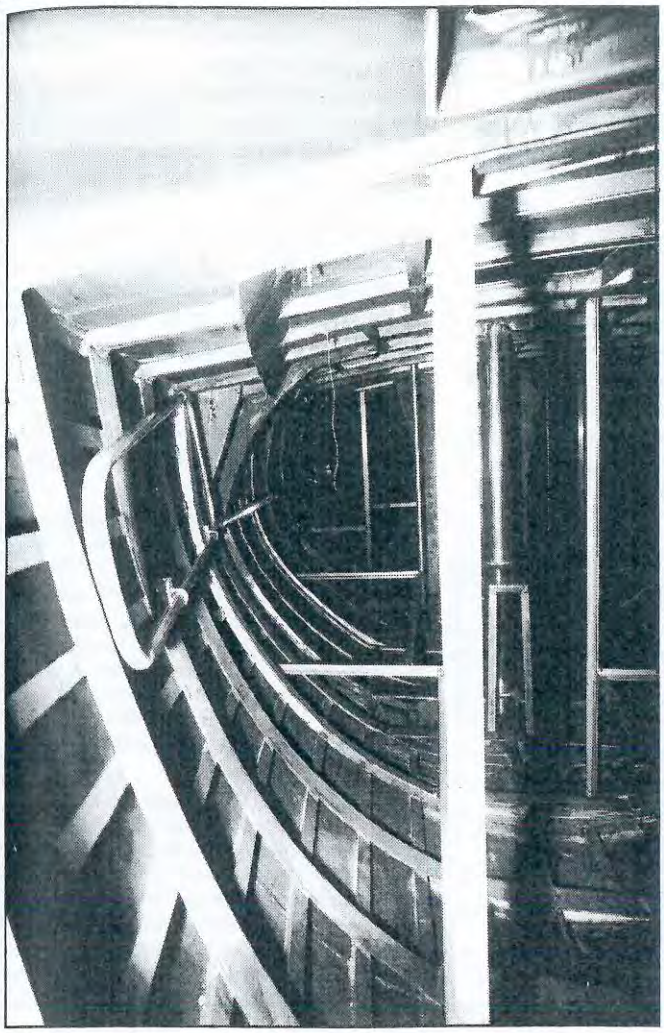


Photo A 44 : *Structure sur lisses (Photo C.I.C.R.)*

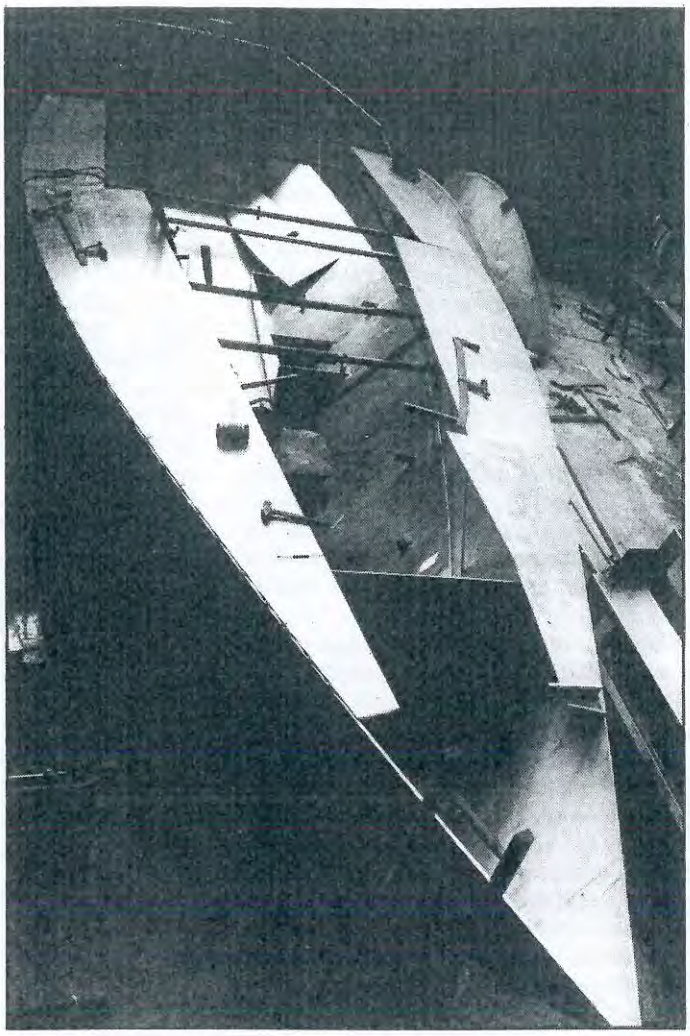


Photo A 47 : *Bordage de pont. Construction Strongall.*

FLOATING SYSTEM

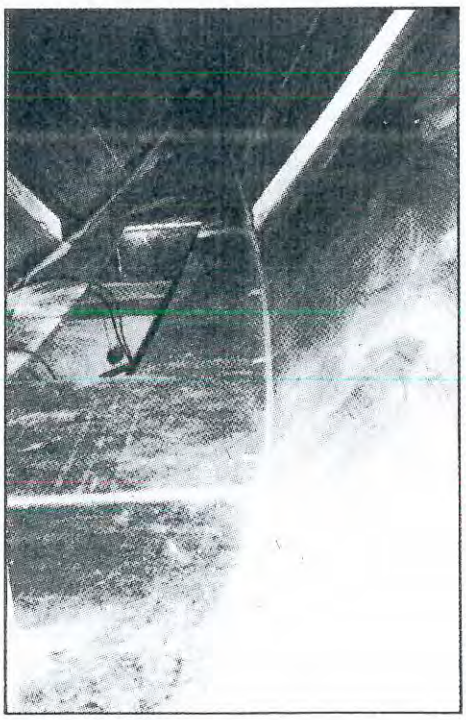
On appelle ainsi les structures sur lisses porteuses dont les membrures très espacées ne touchent pas le bordé. Pas plus que les varangues. On se trouve ainsi dans le cas d'une construction flottante avec lisses et bordé réglables jusqu'à ce qu'on soude les tôles.

Ces coques sont très faciles à construire, mais sont plus lourdes et moins nerveuses que les coques sur membrures. Si bien que leur souplesse apparaîtra comme une tare pour les bateaux de course, ainsi que leurs poids, mais apparaîtra comme une grande qualité pour les bateaux de navigations lointaines qui, de ce fait, absorbent très bien l'énergie des chocs sur les vagues et des objets durs, abordages et échouages. Les efforts de gréement et de lest étant moindres, la raideur de la poutre constituée par la coque et le pont les assume très suffisamment.

Cette « *souplesse* » est aussi appréciée sur les grandes vedettes qui peuvent admettre jusqu'à plus de 25 G, tandis qu'un avion admet 10 G.

Les lisses seront en général des T. Les membrures seront des fers plats ou des L ; rarement des tôles découpées. Ce système réglable est le plus indiqué pour la construction économique, professionnelle ou amateur.

Photo A 45 : *Photo typique de la construction « Strongall ». (Photos META).*



Vous trouverez dans le chapitre sur les options de structures en aluminium classées parmi les techniques d'avenir, des développements sur les choix fondamentaux : tôles minces et structure dense ou peu de structure et tôles épaisses, un plus long développement sur la construction en Strongall du chantier *Méta*.

AUTRES ELEMENTS

Les renforts transversaux de coque sont les membrures ; les renforts transversaux de pont sont les barrots ; les renforts transversaux des fonds sont les varangues. Les renforts longitudinaux de coque sont les lisses et éventuellement les serres. Les renforts longitudinaux du pont sont les lisses, les élongis et les hiloires. Les élongis sont des lisses de grosse section. Les hiloires sont des tôles telles que les côtés du roof...

On trouve aussi des renforts verticaux reliant le pont aux fonds : les épontilles.

Il en existe de deux types :

Des épontilles de compression sous le mât. Elles transmettent l'effort d'appui du mât à travers le pont vers les fonds qui sont renforcés pour résister à la compression. L'épontille travaille alors à la com-

pression et au blanchement (ou flambage).

Des épontilles de traction et compression alternées dont le but est de relier le pont à la coque et d'assurer l'indéformabilité de la poutre constituée par le bateau. Les efforts combinés du haubanage et de la quille, de la gîte et des vagues font travailler ces épontilles tantôt en compression et tantôt en traction. Leur rôle est d'autant plus efficace qu'il est direct et parfaitement orienté. Par contre, leur encombrement en fait réserver l'emploi à des unités de course. On en trouvait dans le *Pen Duick III d'Eric Tabarly.*

Ces options de structures sont analogues à celles qu'on a rencontrées dans l'étude de l'acier. Il convient de lire les deux chapitres qui ne manquent pas de se compléter. On peut en tirer des conclusions :

- **Plus une structure est bien orientée, directe dans la reprise des efforts,** plus elle est efficace, plus elle peut être allégée.
- **Plus on fait de compromis avec la seule reprise des efforts, et plus il faut quadriller les renforts** pour reprendre les charges non par un élément, mais par un ensemble, et moins la structure est efficace, plus elle est lourde.

Aux deux extrêmes opposés, figurent les structures sur membrures (voire les structures Bergstom) et le procédé Strongall.

A mi-chemin se trouvent, vers la structure transversale, les structures mixtes, et vers les tôles épaisses sans renforts, les structures en *Floating System.*

Les premières étant légères, encombrantes et parfaites pour le bateau sportif.

Les dernières étant plus lourdes, discrètes et parfaites pour le bateau très logeable.

On trouve aussi comme on peut s'en douter, des combinaisons de ces types principaux. Par exemple, des structures mixtes à dominante longitudinale ou à dominante transversale. Et même dans un bateau donné, on pourra trouver deux systèmes associés, ainsi dans le *Paul Ricard de Tabarly. (Photos A 43 à 50, croquis A 129 à 134)*

23

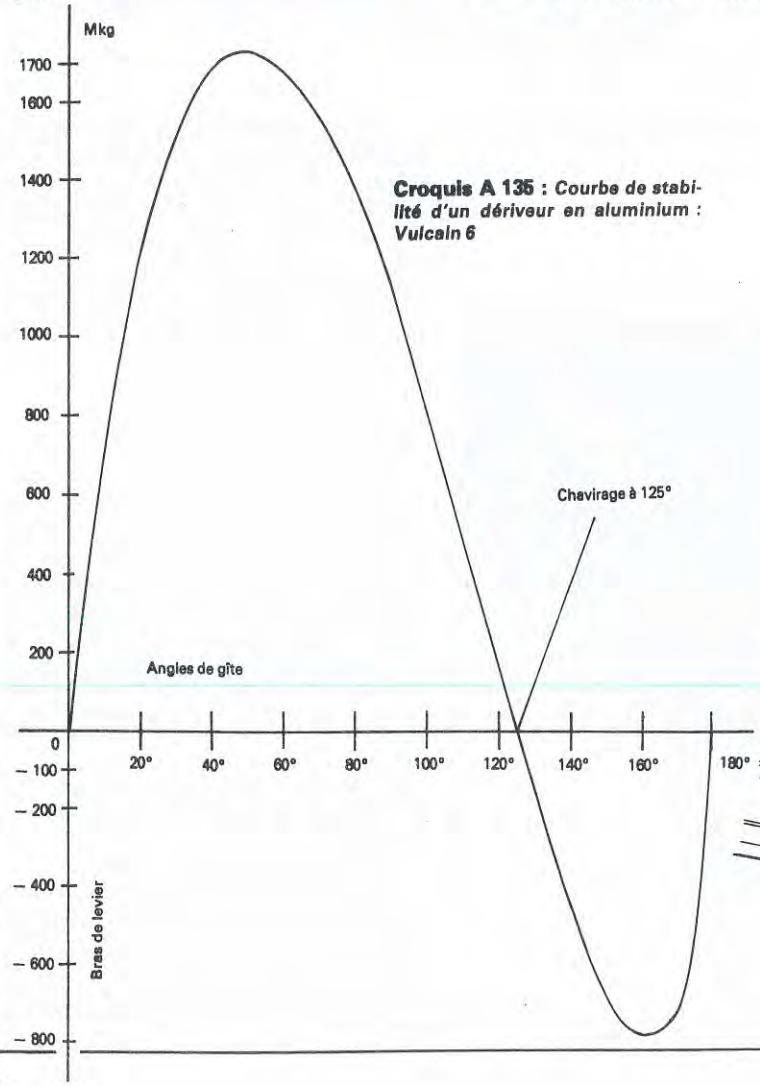
EXEMPLES DE STRUCTURES ET D'ECHANTILLONNAGES EN ALLIAGE D'ALUMINIUM

A titre d'illustration du chapitre où je décrivais les différents types de structures en aluminium qu'on rencontre usuellement dans la construction de bateaux de plaisance de moins de 25 mètres, voici des exemples de structures et d'échantillonnages offerts par quelques bateaux aux caractéristiques connues et sûres.

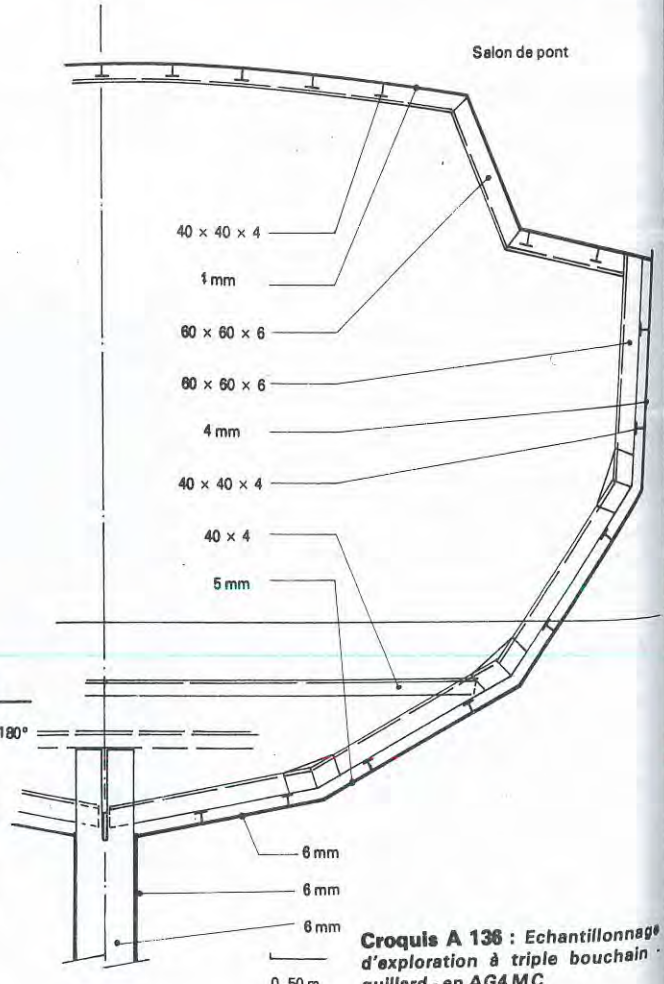
Ces exemples, je vous les donne ci-après classés par ordre alphabétique. Vous retrouverez les caractéristiques de ces bateaux dans un classement par taille, la longueur de coque étant naturellement la donnée retenue pour cette liste à laquelle certainement on trouvera des oublis car le nombre des créations en aluminium est déjà fort abondant. Je prie ceux dont le nom d'une de leurs créations est absent de bien vouloir m'en excuser et je les en remercie.

Albion-Pessoa : quillard ou dériveur de 10,45 m à double bouchain. A.G4MC. Pont en 4 mm. Bordé en 4,5 et 6. Fond du dériveur en 6 et 12 mm. Quille et puits de dérive en 6 mm. Structure sur lisses. Membrures en L de 60 × 6 ; barrots en L de 50 × 5. Lisses en T de 32 × 4. Mèche de gouvernail en A.G3 ou A.G5 diamètre 60 mm. Axe de dérive en A.G5 diamètre 50, ainsi que les aiguillots du safran du dériveur. Architecte *G. Caroff.* Plans de 1977. *Floating. System.*

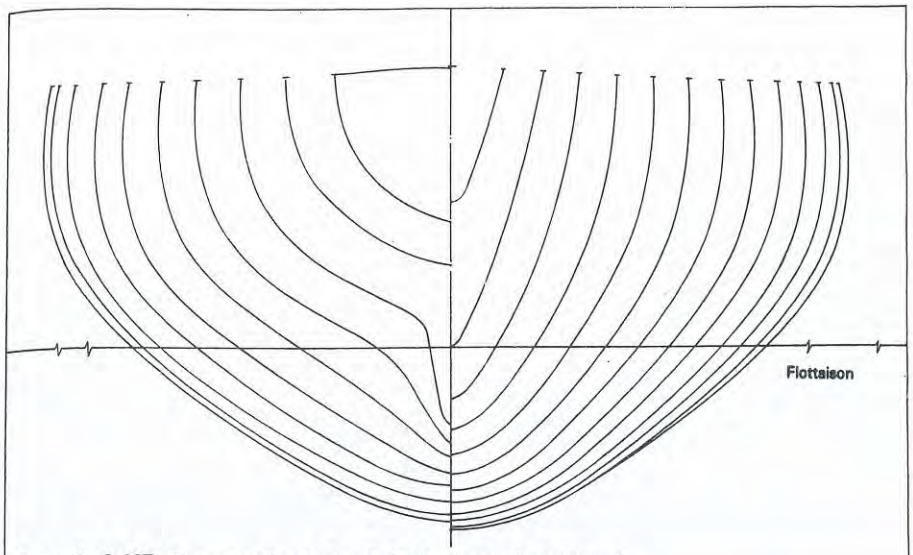
Apollo (Presles 37') : plans de *Dominique Presles* des années 72 en formes et tôles développables. Quillard de 11 m. AG4MC. Bordé et pont en 4 mm. Fonds et quille 6 mm. Finition extérieure réalisée par sablage. Structure complexe avec des fonds raidis par des varangues en tôles pliées et une muraille renforcée par des lisses, dans les hauts, et des renforts rayonnants selon les génératrices de dévelop-



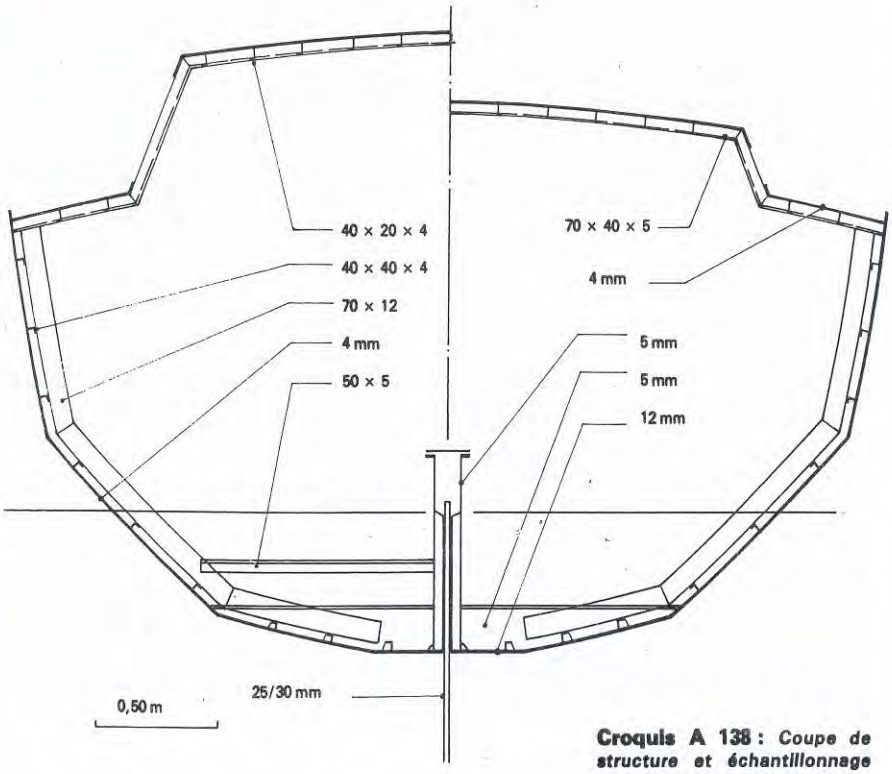
Croquis A 135 : *Courbe de stabilité d'un dériveur en aluminium : Vulcain 6*



Croquis A 136 : *Echantillonnage d'exploration à triple bouchain quillard - en AG4 MC*



Croquis A 137 : *Transversales de Pen Duick 6, d'après André Mauric.*



Croquis A 138 : *Coupe de structure et échantillonnage du Vulcain 5 en AG 4,50 MC.*

pement du bordé. Construction sur gabarit naturellement.

Atch : coque à double bouchain construite en AG 4 MC sur lisses. Quille caisson soudée. Plans *Provin* des années 75. Longueur 10,50 m.

Archimède 36 : dériveur intégral de 11 m AG4MC, dessiné par *Reiner Dobbelmann*. Bordé, pont et roof en 5. Fonds en 8. Puits de dérive en 8. Les tôles reposent sur une structure faite de 10 membrures en L de 80 × 50 × 8, 18 lisses en T de 50 × 50 × 5 et 20 varangues en tôle de 8. Dérive en tôles de 5 lestée de 250 kg de plomb. Le lest en plomb est dans les fonds. Soudage TIG et MIG. Formage par cintrage et emboutissage à la presse.

Baglietto Ischia 80' : vedette habitable planante de 16,44 m capable d'une autonomie de 450 milles à 30 nœuds avec deux moteurs diesel de 650 CV. AG4MC. Pont et bordé en 4 à 12 mm.

Soudures sous argon contrôlées aux rayons X et par ressuage (!). Construction en *Floating-System*, avec profilés, tôles pliées et cloisons renforcées par des profilés espacés d'environ 25 cm.

Beaujolais 10,10 m : plans *Philippe Harle* des années 80. Dériveur lesté ou quillard de 10,10 m à double bouchain. AG4MC H III (recuit) soudage TIG et MIG. Bordé en 4 mm. Pont en 3 mm. Construction sur lisses et 9 membrures en L. Quille de type caisson soudé.

Brise de Mer 31' : plans *Finot* des années 75 à double bouchain. Quillard de 9,30 m. Construction en AG4MC à double bouchain. Les bouchains d'abord vifs furent ensuite passés au tas puis la coque fut construite en formes. Bordés en 4 et 5 mm sur lisses en T et membrures. 6 varangues supportaient la quille en fonte boulonnée dans la version d'origine.

Brise de Mer 37' : plans *Finot* des années 1975, coque en formes en AG4MC. Bordé en 6 ; fonds en 7 ; quille en 10 mm de type caisson, soudée. Pont en 4 et 5 mm. Construction sur lisses couples et porques, lest en plomb coulé dans la quille longueur 11 mètres.

Chatam : Plans *Caroff* des années 1975 et 78. Quillard ou dériveur à double bouchain en AG4,50 MC. Coque en 5 mm ; quille en 6 avec semelle en 10. Pont en 4 mm. Construction sur lisses en T de 32 × 4 ; membrures en L 63 × 40 × 5 ; barrots en T de 63 × 40 × 5. Fer de quille en plat de 80 × 10. Fond plat du dériveur en 5 et 10 mm. Puits en 5 mm. Le lest du dériveur est constitué en tôles d'acier ou gueuses de fonte bloquées par de la résine et des barres. Longueur 9,55 à 10 m selon voûte.

Coppelia : ce quillard à double bouchain conçu dans les années 70 a la particularité d'avoir été construit, tout au moins quant à son prototype, en AG5. C'est assez rare pour être noté. Cet alliage riche en magnésium est très corrodable et difficile à souder. Longueur 10,27 m. Plans *Auzepy-Brenneur*.

Cutter 35' : coque en formes construite en AG4,S MC. Bordé en 4 mm sur lisses. Couples et cloisons en tôle de 5 mm. Lisses en T de 40 × 5. Varangues en tôles pliées de 6 mm. Quille en 6 mm. Lest de 2.300 kg en fonte. Semelle de quille en 10 mm. Pont et roof en 4 avec barrots en 32 × 3. Cockpit en 4 ainsi que le safran. Mèche diamètre 70. Soudures en MIG contrôlées par ressuage. Longueur 10,65 m. Plans *Associated Naval Architects* (Houston USA).

Dufour A. 9000 : outre le fait d'avoir été construit par l'équipe qui a réalisé le 12 mètres JI *France III*, le Dufour A. 9000 a la particularité d'être construit en AG4MC pour sa coque et son pont, mais d'avoir un cockpit en polyester moulé. Lest en plomb isolé. Longueur 12,00 m. Architectes *J. Valentjin et Dufour*. Coque en formes sur membrures et lisses, en 5 et 6. Pont en 4, quille en 6.

Ecume de Mer : plans *Finot* vainqueur de la Quarter Ton Cup en 1969. Construit à double bouchain par le chantier Hollandais *Huysman*. Bordé en AG4MC en 4,5 mm sur quelques membrures et tubes ceinturant la coque et recevant les « *aménagements* » en tubes eux aussi. Quille en fonte boulonnée et isolée. Longueur 7,80 m. Une exemplaire simplicité et beaucoup d'astuces. Par la suite, Ecume fut construit en polyester et en formes.

Exploration : quillard et dériveur à double bouchain sur plans *Caroff* de 1981. Pont en 4, bordé en 4 et 6. Quille en 6 avec semelle en 12. Fond plat du dériveur en 6 et 12 avec puits en 6. Construction sur lisses en T de 40 × 4, membrures en L de 60 × 6 et barrots en L de 5 60 × 6. Alliage choisi, AG4MC, 5086. H III. Longueur 11,35 m. Quille caisson soudée avec lest isolé. Construction au chantier *Dumanois*, soudage MIG avec fil en AG5.

Flot 18 MK 4 : plans *Langevin* des années 75. Coque à double bouchain en 4 mm sur lisses en T de 32 × 32 × 3 avec couples en L et varangues en tôles pliées. Quille de type caisson soudée avec lest en fonte. Longueur 8,30 m. Construction en AG4MC.

Flot 32 : autre plan *Langevin* plus récent. Coque en formes construite en AG4MC. Bordé en 4 mm sur lisses en T de 40 × 5 et 6 couples en tôles pliées de 4 mm, avec deux cloisons non étanches. Varangues en tôles pliées de 6 mm. Quille en 6 mm avec semelle en 10, lest en lingots de fonte dans la quille de type caisson, isolés par de la résine. Pont et roof en 4 mm. Soudures MIG contrôlées par ressuage, avec fil AG5.

Globe Trotteur : dériveur construit par le chantier *Méta*, architectes Joubert-Nivelt en tôles épaisses d'AG4MC. Procédé original nommé Strongall, marque déposée, qui consiste à border des tôles de 10 et 12 mm sur un mannequin, le bateau ne conservant que peu de structure transversale varangues, et pas de structure longitudinale. La fixation des aménagements se fait sur des plots soudés au bordé. Le poids est voisin de celui d'une coque en acier et le bateau se caractérise par une grande robustesse. Longueur du 33' : 10,05 ; longueur du 36' : 10,70 m. Il s'agit d'un bordé *« auto-porteur »*.

Hégoa 35' : quillard à triple bouchains construit sur membrures et lisses, pour le bordé en 5086 H. III et pour la structure en 6060 état T5. Soudure TIG et MIG 5356 (AG5). On trouve 22 varangues espacées de 45 cm ; huit porques 100 × 40 × 6 et barrots 80 × 40 × 4. Fer de quille 100 × 8. Coque en 3, 4, 5 et 6. Pont en 4 mm. Cadènes en 16 mm. Longueur 10,90 m. Plans de 1979/80. Architecte *Pryszo*.

Ile Disko : quillard et dériveur à double bouchain en AG4MC H III soudé en MIG avec fil en AG5. Pont en 4 mm. Coque en 4,5 et 6 mm. Quille en 6 avec semelle en 12. Le dériveur a un fond en 6 et 12 avec un puits en 6. Membrures en L 80 × 6. Barrots en L 80 × 6. Lisses de coque et pont en T de 40 × 4. Fer de quille en 100 × 12, plat. La structure est en 6060 état T5. Axe de dérive en AG5 diamètre 70 mm. Plans *Caroff* de 1980. Longueur 11,98 m.

Méridien : coque en formes en AG4MC soudée en MIG. Bordé sur 26 *« membrures longitudinales »* (sic le constructeur, des lisses je suppose) en T de 50 × 50 ; 24 varangues ; 8 couples en tôle de 6. Dérive en tôle d'aluminium de 40 mm. Le lest plomb est déposé entre les varangues et isolé par de la résine. Les tôles de la coque sont roulées à froid et soudées intérieur et extérieur.

Mèche de gouvernail coulissant en aluminium. Plans *Mauric*.

Mopélia 2000 : coque en AG4MC à double bouchain soudée en *Mig Pousse* avec fil « M12 ». Coque de 5 mm avec ce que le constructeur appelle un sandwich constitué par le bordé en aluminium, la mousse d'isolation et les lisses de 30 mm et le vaigrage en contreplaqué de 4 mm. Fonds en 8 mm. Semelle de quille 15 mm. Aileron de gouvernail en 6. Safran en bois, ferrures en AG4MC et mèche inox diamètre 30 mm. Pont en 4 mm avec roof en tôles pliées. Constructeur *Chantier du Port*. Longueur 9,20 m, diamètre 90. Pont en 4 ; bordé en 4 et 5 ; fonds en 6. Longueur 14,28 m. Plans *Mauric* pour le chantier *Pouvreau* dans les années 74 et 76.

Paul Ricard : ce célèbre trimaran à hydrofoils d'*Eric Tabarly* utilise un ensemble de techniques de pointe pour son époque, en 1979.

Construction en AG4MC état H III pour la coque centrale, les flotteurs, le mât d'origine pivotant et profilé. Par contre, l'AG4MC état H 24, plus dur, a été retenu pour la poutre portant les flotteurs. Pièces massives en AG5MC. Alliage performant AP.X.4. pour le gouvernail foiler à inclinaison réglable. De petites pièces comme les cardans de haubannages ont été réalisées en Titane. Coque principale en 3, 4 et 6 mm sur une structure très complexe reprenant localement les types d'efforts qui y sont supportés. La flexion de la coque est reprise par des lisses longitudinales en plats de 45 × 4 espacées de 17 cm aux endroits les plus resserrés. A mi-bordé, on trouve une serre en L de 60 × 40 × 5 dans la partie arrière et en T de 150 × 100 × 5 dans la partie avant. La partie centrale des ponts est raidie par des renforts transversaux en plats de 30 × 3, U de 100 × 280 × 4, T de 150 × 6 × 45 × 4 et T de 100 × 35 × 3, ceci contre les efforts de traction. A l'avant comme à l'arrière, on trouve des renforts transversaux en T de 100 × 35 × 3. Mais la partie inférieure de l'avant est en structure mixte plus serrée. Le pont est raidi par des barrots rapprochés et par des lisses. Les flotteurs d'origine ont un bordé en 3 ramené près des soudures à 1,6 mm. Ils sont raidis par des lisses, renforts transversaux et tirants en tubes.

Leur partie centrale qui recevait le mécanisme commandant leur orientation était en 15, 8 et 4 mm. De plus, ils étaient reliés à la poutre par des tirants en tubes de 100 × 6 posés après l'accident survenu peu avant au Kriter 4 dont un flotteur s'était rompu pendant sa tentative de *« Record de l'Atlantique »*. La poutre de section rectangulaire à l'origine, renforcée par des croisillons en tubes. La paroi de la poutre était en AG4MC. H. 24 fraisé, son épaisseur variant de 15 à 2,5 mm en un dessin caissonné.

Le mât avait été construit sur la base d'une compression de 40 tonnes, le couple de redressement étant de 56.000 m kg (phénoménal) avec un volume de flotteurs de moins de 4 m3, une largeur totale de 16,60 m. La poussée des foils était évaluée à 7.000 kg.

On sait que le devis de poids initial avait été dépassé de plus de 10 % portant le poids du bateau à 7.500 kg. Un allègement fut obtenu en simplifiant la poutre, le gouvernail et le mât. Les formes de l'avant du bateau furent refaites, la coque allongée est plus fine car l'étrave *« bourrait »*. L'étude avait été faite par la Société des Avions *Marcel Dassault*, le *CEAT* de Poitiers, *l'IUT* de La Rochelle.

Pen Duick 3 : autre bateau d'*Eric Tabarly*, *Pen Duick 3* est une longue coque de 17,45 m à double bouchain dont le bouchain supérieur est banané. Conception en 1969/70. Rappelons que *Pen Duick* a, depuis, participé à de très nombreuses courses transocéaniques sous différents noms, un des derniers, en 1978, étant *« La Rochelle - Pointe-à-Pitre »*. Construction en AG5 sur six couples en tôles et quinze varangues qui portent le lest. Chaque couple possède deux épontilles en tube de 100 × 5 qui lient le pont et la coque et assurent la raideur de la poutre. Bordé en 6,5 et 6 mm. La structure est de type mixte. Elle comporte 16 lisses. Le pont est raidi par des lisses et des barrots. La quille est constituée d'un voile en tôle de 80 mm et d'un saumon en fonte isolé du voile d'aluminium par une stratification. Le diamètre de la mèche en AG5 et de 50 mm.

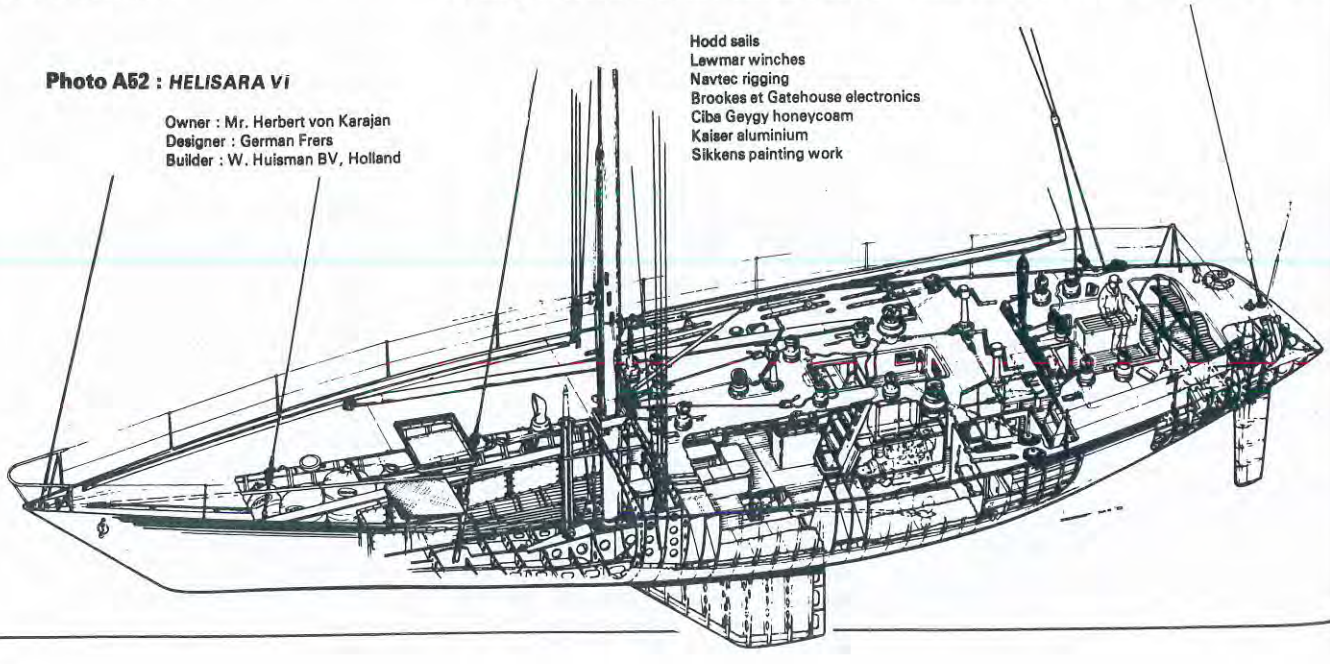
Pen Duick 5 : le bateau d'*Eric Tabarly* a été conçu pour la *« transpacifique »* en 1968. C'est une carène plate, à redans, en formes, de 10,67 m. Construction en AG4MC sur II lisses en T et cinq membrures en tôle. Le pont est raidi par 5 lisses et 5 barrots. La quille est constituée par une voile en tôle de 40 mm et un saumon en plomb isolé par stratification. Ce bateau exceptionnel, conçu par *Michel Bigoin*, remporta la transpac.

Pen Duick 6 : le plus grand des bateaux de Tabarly avec 22,50. Dessiné par *André Mauric*. Coque en formes sur 15 membrures en tôle et 39 varangues. Le pont est raidi par 55 barrots. Une telle structure transversale se justifie sur ce voilier de course au couple de rappel très puissant. Légère et raide, elle donne une poutre qui permet de bien raidir les étais. Bordé en 6, 8, 10, 12 mm et 16 mm autour de

Photo A52 : *HELISARA VI*

Owner : Mr. Herbert von Karajan
Designer : German Frers
Builder : W. Huisman BV, Holland

Hodd sails
Lewmar winches
Navtec rigging
Brookes et Gatehouse electronics
Ciba Geygy honeycoam
Kaiser aluminium
Sikkens painting work



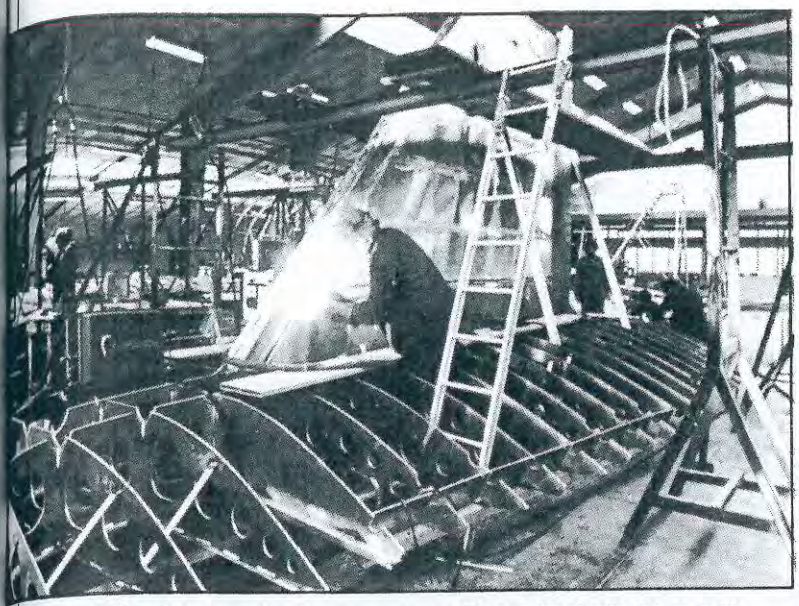


Photo A53 : *Cet ensemble de varangues, carlingues longitudinales et quille rejoindra la coque, elle-même bâtie à l'envers sur le pont. (Photo Huisman).*

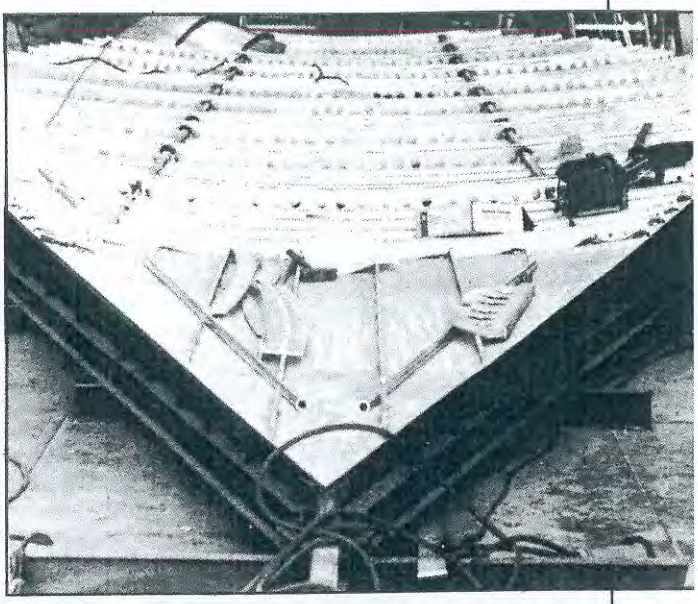


Photo A 54 : *Structure de pont, sur élongis, barrots et barrotins transversaux. Renforcement de l'avant par des lisses longitudinales. Les tubes amènent des fils électriques vers les feux d'étrave. (Photo Huisman).*

la quille. Pont en 4 mm avec une gouttière en 6 mm, et une bande transversale en 6 mm au niveau du mât principal et de ses cadènes, ainsi que du mât d'artimon. Le diamètre au sortir de la coque, 60 mm en bas.

Pen Duick 600 : petit cri croiseur côtier dessiné par Dominique Presles et construit d'une façon très originale par le chantier *Le Guen et Hémidy* vers 1974. La coque est réalisée en 7 éléments. L'avant et l'arrière développés en sections de cônes (génératrices droites dans le plan antéropostérieur) soudés à la partie centrale qui elle est chaudronnée en forme non développable par étirage sur poinçon. Le pont est développable. Puis sont ajoutés le tableau arrière et la quille. La structure intérieure est constituée de quelques tôles et varangues transversales, deux épontilles et un barrot sous le mât, deux autres sous le cockpit. Une tôle pliée sur chaque bord renforce les zones. Pont en 4, cockpit en 3, coque en 3. A part les soudures du tableau arrière, de la quille et du pont, en angle, il n'y a que deux plans de joints soudés dans la coque. La soudure transversale avant est raidie par la varangue qui porte les épontilles et le barrot de mât. Longueur 6 mètres. Alliage : AG4MC.

Petit Requin : ce trimaran de 14,80 m dessiné par *Caroff* pour *Michel Ralys* n'avait pu s'exprimer à la Transat anglaise en double en 1981, il s'est rattrapé par sa bonne prestation pendant la Route du Rhum de 1982.

La conception date de 1980. Coque principale en 4 et 5 mm bordée sur 14 lisses en oméga de 50 × 80 et 5 couples en tôle de 4 et 5 avec bord plié de 50 mm de large. Les deux poutres traversent la coque principale et relient les deux flotteurs l'un à l'autre. Elle est de section rectangulaire, en 4, avec un carénage en 3, raidie par quatre omégas de 50 × 80. Le puits de dérive est en 5. Les flotteurs sont en tôle de 4 bordée sur 6 omégas de 50 × 80 et 6 tôles de 4 mm. Les ponts et le roof sont en 3, ce qui a permis de construire ce trimaran de près de 15 mètres, large de 10,50, pour 3.800 kg. L'alliage est un AG4MC état H III. Soudage TIG et MIG. « *Petit Requin* » a réalisé des vitesses de 26 nœuds aux mains de son propriétaire, le maître voilier Michel Ralys et a participé à la *Route du Rhum* 1982.

Randonneur : petit bateau école dessiné par *Marc Espagnon* pour le *chantier du Port*. Coque à bouchain et fond plat à dérive pivotante, gréée de deux mâts souples. Coque en AG4MC en 5 et 6 mm avec pont en contreplaqué 9 et 12 mm. Varangues en aluminium et 5 cloisons en contre-plaqué de 12 mm collées. La dérive est en AG4MC. Longueur 8 m. Vous aurez noté la particularité de cette construction avec une coque en tôles épaisses, eu égard à la taille et au programme du bateau (day-boat ouvert), coiffée d'un pont en contreplaqué. La liaison se faisant par vissage sur une serre avec joint étanche.

Romanée : très célèbre croiseur de 10,20 m dessiné en 1973 par *Philippe Harle* pour le chantier *Pouvreau*. Coque en formes construite en AG4MC, soudée MIG, bordée sur 20 lisses espacées de 18 cm, II couples en tôles et 3 varangues. Tôles de coque en 4 mm. Pont en 4. Quille en 6 avec semelle en 10. Le lest est en plomb isolé par de la résine.

Trisbal : « *Remake* » dessiné en 1977 du *Trismus* de Patrick Van God, à bouchains et fausse quille longue, à deux dérives, sur structure mixte avec 1 membrure et lisses. Bordé en 6, pont en 5, semelle en 12. Puits de dérive en 5. Epaisseur des dérives : 25 mm. Safran en 3 avec aiguillots en rond de 30 d'inox. Longueur 10,98 m pour le 36'. Architecte *Cabinet BDS, Jean-Pierre Brouns*.

Trisplus : version moderne du précédent, avec coque en formes dessinée par *Jean -Louis Noir* pourvue de deux dérives dont l'architecte dit lui-même qu'elles sont plutôt destinées à assurer la continuité de la tradition du chantier plutôt que la stabilité du bateau !

Construction en formes en AG4MC sur lisses et couples. Les lisses sont des omégas de 50 mm très raides, qui absorbent bien le choc thermique du soudage par leurs rebords renflés et évitent de déformer le bordé. Ces profilés sont obtenus par filage. On retrouve cette construction dans le *Via 36*. Le lest est constitué de tôles d'acier noyées dans de la résine et ainsi isolées du bordé. Pont en 4 mm. Longueur 12 m.

Via 36 : toujours héritier du Trisbal, Trisplus et Trismus, le *Via 36* est un sloop à 2 dérives pivotantes (pour la tradition). Le bordé est semi-développé, avec un fond plat. L'étrave est un développement de cône ouvert pour se raccorder avec le reste du bordé. On trouve un seul bouchain vif soudé, outre le fond plat. La carène est ainsi en semi-formes. La voûte est elle aussi proche du développement. On évite ainsi un trop fort écrouissement du métal. Semelle d'échouage en 12. Longueur 11,50 m.

Vulcain 5 : Plans *Caroff* de 1982. Quillard et dériveur construit au chantier *Brument* en AG4,50 MC. Soudage M.I.G. pulsé avec fil en AG5. Tôles de pont et bordé à double bouchain en 4 et 5 mm. Quille en 5 avec semelle en 12. Puits de dérive en S et semelle d'échouage en 12 pour le dériveur à double bouchain et fond plat. Lisses de pont en L de 40 × 20 × 4. Barrots en U de 70 × 40 × 5. Les tôles de coque sont bordées sur une structure en Floating System, sur lisses en T de 40 × 4 et membrures en plat de 70 × 12. Les fonds sont raidis par de nombreuses varangues en 5 avec un bord plié de 50 mm. La dérive est découpée dans une tôle de 30 mm. Vérification des soudures par ressuage. Longueur 10,20 m. Le lest en lingots de plomb ou en tôles d'acier est encastré entre les varangues et isolé par stratification et résine.

Vulcain 6 : autre bateau, en AG4MC, du chantier *Brument*, sur plans du *Graal* en 1979. Soudage sous argon par arc pulsé semi-automatique (MIG). Les soudures sont vérifiées par ressuage. Bordés en 3 et 4 mm. Le pont présente des parties pliées par souci d'économie. Les tôles sont bordées sur une structure comprenant 12 lisses en T de 40 × 40 × 4, 6 couples en tôle de 4 et 9 varangues en tôles de 5. La quille de la version quillard est en 5 avec une semelle en 12. Les fonds du dériveur sont en 12 et les puits en 5. Longueur 9 m. Le lest en acier encastré entre les varangues et isolé par de la résine.

Zoufri : ce dériveur en formes de *Langevin* est un des premiers dériveurs intégraux à s'être présenté sur le marché. Son étude en est d'autant plus intéressante. Construction en AG4MC au *chantier d'Aluminium et Techniques*. Bordé en 4 et 5 avec fonds en 6. Pont en 4. La structure est constituée de lisses en T de 40 × 40 × 4 espacées de 20 cm et de 6 couples en tôles pliées. Puits de dérive en 4 avec raidis-

seurs en 6. Dérive profilée en tôles avec 300 kg de plomb avec axe en inox de 30 mm. Le lest est dans les fonds. Il est constitué de plomb isolé par de la résine. Zoufri fut, je crois, le seul bateau élu « Bateau de l'année » à ne pas être en polyester.

C'étaient là quelques exemples variés d'échantillonnages de bateaux en formes ou à bouchains, voiliers ou vedettes, quillards ou dériveurs, mono ou multicoques, qui permettent au néophyte de se faire une idée sur la question. Une idée saine, dans un juste milieu, évitant les légèretés dangereuses et les suréchantillonnages inutiles.

CARACTERISTIQUES COMPAREES DE QUELQUES BATEAUX EN ALUMINIUM

Voici une liste de quelques bateaux, voiliers et bateaux à moteur construits en aluminium en 1982/1983. Cette liste n'est certes pas complète, elle permet néanmoins de comparer ce qui nous est proposé. On notera la grande diversité de la conception de tailles et des poids.

L'EXEMPLE DU CHANTIER HOLLANDAIS HUISMAN

Le constructeur hollandais *Huisman* est un des tous premiers constructeurs mondiaux. W. Huisman et Alice sont installés au bord de l'eau à Vollenhove, dans un ensemble de quatre bâtiments où ils construisent des voiliers et vedettes à moteur, en aluminium, font du gardiennage et de la réparation et équipent avec grand soin leurs unités en général de grande taille.

Le chantier *Huisman* est spécialisé dans la fabrication de grands bateaux de course lorsque ce sont des voiliers, et de grosses vedettes à moteur, véritables yachts. Il propose aussi une gamme de vedettes de service, de surveillance, de pêche sportive et de croisière rapide, ainsi que des voiliers de 37, 41, 45,5 et 50 pieds.

Ont contribué à la réputation de ce constructeur des unités à succès telles que le petit quarter tonner de *Finot* « *Ecume de mer* », *Gitana VI*, *Révolution*, *Emeraude*, *Besteaver*, *Traité de Rome*, *Flyer* qui a remporté la Transat en équipage et la Course autour du monde de 1977/78.

Il est toujours utile de connaître les méthodes d'un tel constructeur et d'en apprendre quelque chose.

Voici quelques traits de la façon dont *Huisman* construit ses bateaux en aluminium depuis 1966.

Le résumé suivant a été réalisé d'après les notes de MM. *W. Huisman*, *W. Zantwoort* ; et M. *F.A. Jacobs* du Département Structures du Laboratoire spatial national Hollandais.

ALLIAGES UTILISES

Alliages	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Autres alu éléments	
5083	0,40	0,40	0,10	0,30/1	4,0/4,9	0,05/0,25	0,25	0,15	0,15	balance
5086	0,40	0,50	0,10	0,20/0,70	3,5/4,5	0,05/0,25	0,25	0,15	0,15	balance
6061	0,40/0,80	0,70	0,15/ 0,40	0,15	0,8/1,2	0,04/0,35	0,25	0,15	0,15	balance

Les alliages utilisés sont donc les 5083, 5086 et 6061.

Les tôles de pont, coque, quille et gouvrenail sont en 5083 (A.G 4 MC) état H 321 écroui par tirage à froid, quart dur, et stabilisé, ou 5086 (A.G 4,50 MC) état H 117 qui est un état écroui à froid, recuit et plané, avec garantie spéciale des caractéristiques. Les petites pièces, varangues, barrots, membrures, lisses, sont en 6061 qui est un AGS en état de trempe T6. Les mâts sont aussi en 6061 état T6. Les tangons, et ferrures de bômes sont en tôles d'A.G 4 MC soudées.

Ces alliages sont choisis pour leur résistance à la corrosion, leur ductilité et leur formage qui ne transforme pas trop leurs caractéristiques.

Alloy and temper	Tensile strength (kg/mm²)						Elongation for L = 2 inches (%)	
	Ultimate (S4)			Yield (S0,2)				
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ
5083 H 321	30,9	32,3	39,4	21,8	23,2	30,2	12	16
5086 H 117	28,1	29,5	—	19,7	21,1	—	8	12
6061 T 6.....	26,7	31,6	—	24,6	28,1	—	10	12

Nom	Type	Long. coque en m	L.F.L. en m	Bau maxi. en m	Tirant d'eau en m	S.V. en m²	Poids en kg	Lest	Moteur fixe
Optimist	D	2,34	1,75	1,13	0,09/0,78	3,60	35	—	—
Triagoz	TRI	7,65	7,20	5,95	0,30	3,20	950	—	—
Pen Duick 600.....	Q	6,00	5,00	2,25	0,90	1,80	700	260	—
Disco 24.....	DL	7,20	6,00	2,50	0,60/1,40	2,80	1.600	500	8
Super Belouga.....	QR	7,20	5,80	2,48	0,45/1,45	26,50	1.100	300	—
Le Huit	DL	8,00	6,45	2,80	0,75/1,75	3,70	1.800	800	—
Brise de Mer 28.....	Q	8,55	6,60	2,87	1,50	42,50	2.800	1.000	8
Vulcain 6.....	D	9,08		3,00	0,50/1,95	54,00	2.600	1.000	10
Arak.....	D	9,11	7,50	3,30	0,49/1,76	52	3.400	1.300	12
Dalu 31	DL	9,35	7,63	3,30	0,65/2,15	55,50	6.000	2.000	23
Jurançon.....	DL	9,40	7,50	3,40	1,00/2,25	57,40	3.800	1.600	15
Zoufri	D	9,40	7,60	3,30	0,60/1,90	50	3.500	1.550	10
Disco 32.....	DL	9,50	8,00	3,50	0,70/1,70	50	4.500	1.500	15
Chatam	D	9,55	7,80	3,35	0,70/2,00	57	5.000	2.000	15
Flot 32.....	DL	9,60	8,00	3,35	1,05/2,35	52,70	3.700	1.500	28
Mopélia 2000	QR	9,75	8,20	3,25	0,85/2,20	52	3.500	1.000	—
Ovni 32	D	9,75	8,40	3,50	0,50/1,95	60	4.400	2.000	15
Chatam	Q	9,88	7,80	3,35	1,40	60	5.000	1.500	15
Globe Trotteur 33.....	DL	10,05	8,55	3,42	0,80/2,17	70	6.500	2.200	37
Beaujolais 10,10.....	Q	10,10	8,20	3,48	1,60	60	5.000	1.600	—
Vulcain 5	Q	10,20	8,20	3,60	1,50	75	5.000	2.000	20
Vulcain 5	D	10,20	8,20	3,60	0,70/2,10	70	5.300	2.300	20
Romanée.....	Q	10,20	8,00	3,50	1,85	62	4.600	1.650	25
Brise de Mer 34.....	Q	10,35	8,00	3,40	1,80	69	4.500	1.900	25

Hélianthe	DL	10,35	8,50	3,50	1,10/2,50	67,50	4.500	2.400	20
Kraken 35	Q	10,50	8,64	3,75	1,60	64	4.600	1.700	20
Albion Pessoa	D	10,45	8,15	3,60	0,90/2,10	80	6.500	3.250	20
Pen Duick 5	Q	10,67	9,15	3,50	2,90	55	3.200	400	—
Atch	DL	10,70	8,80	3,65	1,10/2,20	67	8.500	2.200	25
Cutter 35	DL	10,70	8,40	3,40	1,10/2,40	70	5.400	2.300	35
Via 108	D	10,80	9,20	3,50	0,60/1,80	65	7.000	2.500	20
Damien 4	QR	10,98	9,20	3,70	0,65/2,00	—	5.500	2.500	30
Apollo	Q	11,00	8,60	3,30	1,70	80	6.000	3.000	—
Archimède		11,00	9,09	3,86	0,70/2,10	76	7.000	3.000	—
Sillage	Q	11,30	9,04	3,62	2,00	78	5.800	2.300	25
Exploration	D	11,35	9,00	3,95	1,00/2,20	90	7.500	3.500	25
Alumig		11,40	—	3,76	0,75/2,00	—	—	—	—
Via 36	D	11,50	9,95	3,82	0,75/2,00	83	9.000	28.000	30
Aubance	DL	11,60	9,00	3,80	1,25/2,35	81	7.070	3.000	30
Dalu 40	D	12,00	10,00	4,00	0,80/2,45	84	10.250	3.500	40
Diam 40	DL	12,10	9,90	3,93	1,30/2,70	82	9.000	4.200	35
Dufour A 9000	Q	12,20	9,60	3,72	2,05	100	90.000	4.500	—
Ile Disko	D	12,00	9,50	4,15	1,00/2,50	107	10.000	4.200	35
Huisman 41	Q	12,52	9,64	3,83	1,95	94	10.100	5.300	35
Ovni 45	D	13,50	11,70	4,55	0,70/2,30	95,50	10.000	5.000	50
Sealand	DL	14,00	11,45	4,35	1,10/2,70	105	11.500	5.000	35
Méridien	D	14,28	11,76	4,38	0,90/2,95	121	12.600	6.000	50
Dalu 47	D	14,32	12,09	4,44	0,90/2,85	171	17.000	4.500	70
Presles 48	Q	14,60	11,45	4,00	2,30	—	12.300	5.540	—
Jade 48	Q	15,00	12,50	4,25	2,00	120	13.500	5.500	60
Via 52	D	15,90	12,90	4,70	1,05/3,36	140	18.000	5.200	2×35
Hégoa 55	DL	17,20	13,70	4,85	1,80/3,10	181	12.500	6.000	2×50
Dalu 57	D	17,25	15,20	4,80	1,28/3,40	162	21.000	8.000	2×40
Elodie	Q	18,30	13,40	4,60	2,45	—	19.600	6.500	—
Fernande	Q	21,45	16,80	5,15	2,95	—	214.500	9.650	—
Ron Holland 73	Q	22,44	18,72	5,60	2,93	270	25.000	13.000	—
Flyer	Q	23,27	19,73	5,55	3,48	—	30.000	17.200	—
Presles 82	DL	24,99	19,80	5,40	2,70/4,50	—	28.300	15.000	—
Huisman 81 S	Q	24,43	20,00	6,09	3,85	—	39.000	20.000	240
Huisman 81 K	Q	24,46	19,00	5,84	3,00	—	42.000	20.000	240

QUELQUES BATEAUX A MOTEUR

Longueur	Largeur	Poids	Puissance maxi	Dessin de carène	Nom
290	120	47	33	F	Mobilo 280
370	132	46	7,5	V	Alfi 12
400	200	70	—	V	Util 40
500	197	—	85	V	Holiday 16
552	197	—	125	V	Mariner 18 (Rivete)
650	220	550	100	—	Mobilo 650
1070	355	7.000	180	—	Tolf 35
1415	420	14.000	300	V	Tonga 47
1585	450	17.200	400/611	V	Huisman 52 P
1644	463	25.800	650	V	Ischia 80

Méthodes de travail

Les formes sont tracées en vraie grandeur au sol et copiées sur des feuilles de papier qui seront découpées, 6.000 × 1.800.

Une cellule photo guide un appareil à plasma qui découpe la tôle.

La découpe est précise et les rives en parfait état ; les déformations et contraintes internes sont minimales ; des tôles de plus de 4 cm peuvent être ainsi découpées ; la rentabilité est excellente. Dans le futur, le chantier projette de s'équiper de lasers. Ces machines de découpe au plasma sont du type Falcon.

Le préformage est réalisé sur une rouleuse cylindrique qui sert aussi à rouler les barrots et membrures qui sont en général tirés dans du T. Cette machine est du type Fokker-Eckold.

Les autres machines sont classiques et équipées de scies HSS.

Soudage

Ce chantier emploie les deux procédés Tig et Mig sous argon. L'électrode non consommable du procédé Tig est en Tungstène. Tig en courant alternatif. Mig en courant continu. Tig par soudures d'épaisseurs fines et petites pièces spéciales. Mig pour les pièces épaisses et les cordons longs du fait de la vitesse de soudage supérieure avec ce procédé.

L'atelier est tenu scrupuleusement propre sans poussières ni traces grasses. W. *Huisman* insiste beaucoup sur l'importance de cet aspect, la propreté, sur la qualité des soudures. Les gaz de soudage sont éliminés par ventilation. Les joints soudés sont préalablement très sérieusement pointés et les deux côtés d'un bateau ou d'une pièce sont soudés simultanément par deux équipes de soudeurs. Ceci afin de supprimer autant que possible les déformations et les contraintes. L'aluminium est de provenance helvétique : Alusuisse.

W. *Huisman* fait remarquer que le recuit du soudage et l'écrouissage du formage à froid modifient les caractéristiques initiales de trempe de l'alliage. Aussi des tests sont effectués sur les pièces « *transformées* ». On constate qu'une pièce qui aurait comme résistance à la rupture la valeur initiale de 35 kgf/mm² descend à 30 kgf/mm² lorsqu'elle a été recuite par le soudage. Ceci pour une pièce de 4,8 mm d'épaisseur. Cette perte de 15 % est due à la transformation (recuit) du métal de part et d'autre du joint soudé. Cette valeur concerne l'alliage 5083 en état de trempe H 321. La perte est, selon W. Huisman, beaucoup plus forte pour d'autres états de trempe et d'autres alliages.

Un écrouissage par transformation à froid rend à l'alliage ses caractéristiques de base. D'autre part, le recuit rend l'alliage plus ductile et il s'ensuit des

déformations plastiques qui toutefois n'aboutissent pas à des fissures.

W. *Huisman* recommande l'emploi des tables de soudage de la « Société Américaine de Soudage », ainsi que celle de l'« Alcan Booth » qui est publiée sous le nom de « *Souder l'aluminium* ».

D'après ces tables, la résistance à la flexion de l'alliage 5083 de 0,3 ou 0,4 à 1 pour l'acier sans compensation sur le module d'élasticité aux environs de 1,4.

L'Alcan Booth dans leur manuel « *Souder l'aluminium* » précise, au sujet de l'alliage 5083 (A.G4 MC), que par le recuit de la trempe, la charge de rupture passe de 28,0 à 29,2 kgf/mm². Des essais de rupture de pièces soudées ont montré l'absence totale d'inclusions ou de bulles dans les soudures de l'AG 4 MC. Mais W. *Huisman* « *oublie* » de dire avec quel fil étaient soudés ces échantillons. A 5 % de magnésium ?

La construction

Naturellement, nos amis hollandais ne révèlent pas leurs méthodes de travail. Les ponts sont fabriqués à l'envers sur mannequin, sur barrots presque exclusivement avec quelques élongis. L'extrême avant au contraire pour assumer la compression de la tôle due à la traction sur l'étrave, est raidie par des lisses et autres renforts longitudinaux. Les barrots sont en tôles découpées et allégées.

L'ensemble quille, varangues et renforts transversaux des fonds est bâti à part à l'envers avec des carlingues de fonds (longitudinales).

Cet ensemble est posé au-dessus du pont de façon indéformable.

Puis les membrures sont placées entre les deux ensembles, à l'envers. Enfin, les tôles de bordé sont déterminées et soudées symétriquement. Les cordons sont planés ; l'écrouissage dont nous parlions tout à l'heure ! Puis l'ensemble est remis à l'endroit et les superstructures sont terminées ainsi que les détails de la coque qui sont en général fabriqués à part et assemblés.

Le lest est fabriqué dans un four installé à l'intérieur de la coque par séquences de 400 kg de plomb. La quille est réfrigérée par l'extérieur avec de l'eau. Il s'agit là de la fabrication d'un lest en plomb fondu remplissant une quille constituée de renforts et d'une enveloppe en aluminium, du type « *caisson* ». Le lest est isolé et une plaque est soudée par-dessus.

Pour les « *petits* » bateaux, lorsque la quille est en plomb, elle est fabriquée à part et boulonnée sous la coque avec une semelle isolante et des boulons isolés.

En général, les structures sont mixtes. Les membrures sont découpées dans des tôles ou débitées dans du T formé par cintrage.

Peinture

Après dépolissage au disque de la surface de la coque, un système de peintures Sikkens est appliqué. La préparation à ce système est à base de déoxidine et alodine.

— Peinture de l'intérieur :

- traitement à la déoxidine,
- washprimer, 1 couche,
- D.A. polyuréthane, 1 couche.

— Extérieur au-dessus de la flottaison :

- traitement de déoxidine,
- traitement d'alodine,
- époxy filler (enduit époxy),
- enduits de micro-ballons, nécessairement,
- primaire époxy, 1 couche,
- autocryl MC (anti-humidité) polyuréthane vernis, 1 couche. Comprendre qu'il s'agit d'un vernis polyuréthane d'étanchéité,
- finition selon choix.

— Extérieur sous la flottaison :

- traitement déoxidine,
- traitement alodine,
- primaire époxy, 1 couche,
- enduit nécessaire aux micro-ballons,
- D.C. polyuréthane 1 couche,
- sous-couche époxy,
- deux couches d'antifouling caoutchouc chloré.

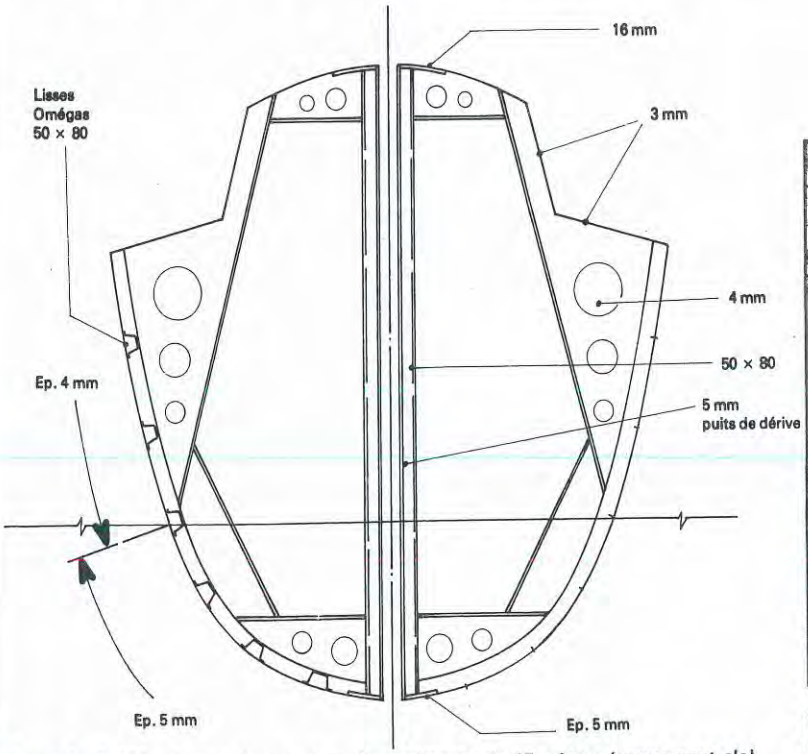
— Intérieur des réservoirs d'eau :

- traitement déoxidine,
- traitement alodine,
- primaire époxy, 1 couche,
- peinture spéciale pour réservoirs d'eau, 1 couche.

Il s'agit d'une peinture alimentaire pour les réserves d'eau.

Protection, isolation

Selon le chantier Huisman, les ennemis de l'aluminium sont le cuivre, le bronze et... l'acier inoxydable.



Croquis A 139 : *Coupe de structure d'un trimaran de 15 mètres (coque centrale), plan Caroff.*



Photo A 55 : *Retournement d'une coque en aluminium. Notez le renforcement de la quille et de l'aileron de gouvernail par des étais pointés (photo Huisman).*

W. *Huisman* est partisan d'anodes consommables sur une coque en aluminium. Comme pour l'acier. Il dit, à juste titre, qu'un arbre et une hélice en bronze peuvent être montés sur un bateau en alu s'ils en sont totalement isolés par un montage souple et synthétique. Sur Flyer 6 anodes d'un diamètre de 20 mm ont été montées qui compensent le potentiel des métaux électropositifs par rapport à l'alu. Ces anodes sont en zinc. Huisman assure qu'il n'y a de problème qu'en cas d'isolation imparfaite tant électrique qu'électrolytique. Par contre, W. *Huisman* conseille les passe-coques en plastique ou en tubes d'aluminium soudés.

LE COUT DE L'ALUMINIUM

W. *Huisman* parle ensuite de la construction barre en main de bateaux de haut standing. Cette réserve étant faite pour différencier son propos où l'heure de main-d'œuvre est un facteur beaucoup plus important en coût que le prix de la matière première, ce qui n'est pas le cas pour une coque pontée achetée dans un de nos chantiers artisanaux. Donc, selon W. *Huisman*, le gain de poids de l'aluminium sur l'acier (*Huisman* ne travaille pas l'acier... Il serait amusant d'entendre parler M. *Jongert*, qui lui, ne travaille pas l'alu, avec M. *Huisman* !) serait de 50 % pour la coque et 62 % pour les superstructures. En 1982, date de ces propos, le kilo d'aluminium était de 5,50 Florins. Le kilo d'acier étant de 1 Florin. Environ 20 FF et 47 FF de 1982. Compte tenu d'une différence de poids que *Huisman* situe forfaitairement à 60 % (!), il situe la différence de coût de matière première à un rapport de 2,20 pour 1. Il situe aussi à 50 % le prix de la matière première sur le coût d'un bateau.

Huisman, qui prêche un peu pour sa paroisse, dit que le bateau en aluminium coûte à peine plus cher que le bateau en acier et bien moins cher que le bateau en sandwich de polyester ou polyester monolythique réalisé à l'unité (one off). S'agissant de bateaux de plus de 60 pieds.

Parlant de la recherche et de l'optimisation des échantillonnages, W. *Huisman* pense que le dessinateur, le constructeur, l'essayeur, l'accastilleur, le maître-voilier et l'utilisateur travaillent main dans la main. Il ajoute que la fixation des échantillonnages bénéficie singulièrement de l'expérience des hommes, reconnaissant lui aussi les limites du calcul et l'importance du « *feeling* », de l'intuition et de l'esprit d'analyse et de synthèse. En notre époque où le « *tout nouveau-tout beau* » ordinateur a bon dos pour encaisser les accusations d'erreurs et se faire parer des travaux d'architecte, ça fait du bien d'entendre parler de la simple capacité humaine.

Que la machine soit alimentée en données du savoir humain pour faciliter et accélérer le travail du concepteur, soit une vérité, oui ! Mais qu'on semble dire qu'un bateau est dessiné « *par* » un ordinateur, non ! Une table traçante et une calculatrice (car c'est ça un ordinateur dans l'esprit de ceux qui sont très récemment tombés sous le charme de la machine) n'ont jamais suffi à dessiner un bon bateau. Ils ne savent que déterminer avec précision et vitesse les contours de ce que le dessinateur a ébauché en le programmant et qu'il extrait de sa culture, de son expérience, de son intuition, de son imagination.

Machina deus est ?

Non !

Et c'est pour cela que la qualité d'un chantier comme Huisman, ou comme Jongert, ou comme *Méta*, peuvent encore émerveiller et émouvoir, outre que leur expérience soit une assurance couvrant l'investissement qu'est l'achat d'un bateau.

Note de l'auteur :

L'alliage A. G4 MC (5083) dans son état H 321 quart dur écroui et stabilisé doit être peint car sa résistance à la corrosion marine est abaissée. (*Photos A 51 à A 55, croquis A 135 à A 139).*

24

LEUR OPINION

FRANÇOIS SERGENT
(Architecte naval IFAN)

L'alliage léger présente avec l'acier une partie des mêmes avantages avec une densité bien inférieure, qui permet, à taille égale, de gagner du poids sur la coque et les superstructures, et partant de constuire des bateaux plus petits ou plus lestés qu'avec de l'acier.

Je ne parlerai pas des techniques de fabrication, ni des problèmes de protection contre la corrosion, d'autres, tout aussi qualifiés que moi, l'auront fait dans le courant de cet ouvrage sur la construction métallique.

Il y a maintenant en France, des chantiers qui maîtrisent bien la technologie des ces deux matériaux et produisent des bateaux parfaitement valables.

Pour l'amateur, la construction acier est tout à fait possible et j'ai pu constater d'excellents résultats dans ce domaine.

Mon opinion n'est pas la même pour l'alliage léger, et je pense que les techniques de soudage dépassent les possibilités de la plupart des amateurs ; les seules réussites que j'ai pu voir étaient le fait de techniciens hautement qualifiés qui avaient appliqué leurs connaissances professionnelles à des réalisations amateur.

OTTO RANCHI
(Architecte naval en Suisse)

L'acier et l'aluminium dans la construction des vedettes à moteur

Pour décrire les qualités et les défauts des deux matériaux en question, il serait trop simpliste de faire un tableau dans lequel on indiquerait leurs caractéristiques mécaniques, leur poids et leur prix et d'où on tirerait des conclusions.

Rien n'est plus faux en architecture navale !

A mon avis, dans le domaine de l'architecture navale, le matériau « *miracle* » n'existe pas, mais on doit toujours être à la recherche d'un compromis entre différentes solutions de façon que le bateau bénéficie d'un bon compromis.

L'utilisation de l'acier dans la construction navale vit le jour en 1875 avec un succès presque immédiat. En raison de ses qualités indéniables pour la construction des unités importantes, il fut préféré au bois qui était jusqu'alors le seul matériel utilisé.

L'aluminium, pour sa part, fut utilisé la première fois en Suisse en 1891 pour la construction d'une petite embarcation d'environ 5 m de longueur hors-tout dans le but de promener des passagers sur le Lac de Zürich. Quelques années plus tard, en 1895, on construisait en France la première vedette rapide militaire en aluminium. Le départ étant donné, les étapes furent brûlées et aujourd'hui, l'aluminium est utilisé couramment dans le domaine naval. Je connais des architectes qui vous parlent de l'aluminium comme s'ils parlaient d'une jolie femme.

L'aluminium a fait beaucoup d'adeptes.

Je ferai un reproche aux architectes qui ont tendance à donner la préférence à un de ces deux matériaux pour construire des bateaux, quel que soit leur emploi. En effet, l'acier et l'aluminium ne sont pas deux rivaux, mais ils sont complémentaires et chacun d'eux est bien adapté à certains types de bateaux.

Une des tâches incombant à l'architecte consiste à conseiller ses clients dans un choix approprié du matériel le plus adapté au type de bateau désiré.

L'utilisation de l'aluminium dans le domaine de la plaisance a connu un énorme succès surtout aux Etats-Unis qui, à partir de 1946, ont produit plus d'un million de bateaux de différentes longueurs, soit à voile soit à moteur.

Au point de vue des caractéristiques mécaniques, un des avantages présentés par l'aluminium par rapport à l'acier est son poids, On situe la réduction de poids entre 30 et 45 % pour la coque et de 55 à 65 % du poids des superstructures d'un

grand bateau ou d'un yacht à moteur. Ces chiffres, je les ai très souvent trouvés dans les revues nautiques, mais si je me base sur mon expérience personnelle, je ne suis pas entièrement d'accord avec eux.

Je vous donne un exemple récent :

Cette année, Maierform, Société avec laquelle je collabore, a été chargée d'étudier les possibilités de mise en chantier d'un bateau à passagers de 60 m de longueur hors-tout, avec une vitesse de pointe de 30 nœuds. **Après avoir étudié les différentes possibilités pour la réalisation de ce bateau, il a été décidé d'effectuer les calculs nécessaires pour le projet en employant deux solutions différentes** : construction acier et construction aluminium. Il faut savoir que pour les bateaux à passagers, les sociétés de classification sont très strictes et exigentes en ce qui concerne les normes de sécurité à satisfaire. Pour cette raison, tous calculs faits, on s'est aperçu que la différence entre les deux solutions n'était pas si énorme qu'on se l'imaginait, mais que la différence de poids se situait entre 5 et 10 % pour un déplacement de 500 tonnes en charge. La méfiance manifestée par certaines sociétés de classification à l'égard de l'utilisation de l'aluminium pour la construction des unités de dimensions importantes pénalise de façon sensible son utilisation.

En outre, il ne faut pas oublier que le prix d'un tel bateau, construit en aluminium est d'environ 5 fois supérieur au prix du même bateau construit en acier. La solution finale a consisté à choisir une construction mixte, c'est-à-dire coque/pont en acier et superstructures en aluminium. Solution déjà adoptée par notre bureau pour la construction de plusieurs yachts dépassant les 100 mètres de longueur. En obtenant ainsi une réduction de poids en hauteur, on augmente la stabilité du bateau, facteur non négligeable dans le cas de bateau à passagers ou de yachts à moteur.

Pour la construction d'unités de cette taille, je suis persuadé que le meilleur matériel demeure aujourd'hui l'acier. **En ce qui concerne les vedettes de dimensions plus réduites, le commentaire est différent :** je donnerai personnellement la préférence à l'aluminium dans la construction de vedettes rapides du type « *off-shore* », dans celle des prototypes et dans celle de certains types de bateaux de supports logistiques aux plates-formes de forage (supply vessel).

Pour des vedettes de plaisance super-rapides dans lesquelles le luxe étalé à l'intérieur justifie les prix très élevés, l'emploi de l'aluminium comme matériel de construction est, à mon avis, bien adapté. Des prestations très intéressantes sont, pour ce type de bateau, plus attractives pour l'acheteur que le prix lui-même. Pour le bateau « *supply vessel* », je préfère l'aluminium pour les longueurs allant jusqu'à 15-18 mètres, étant donné que la diminution de poids peut être compensée par une augmentation du poids des produits transportables. J'ai limité les facteurs de la longueur parce qu'un bateau de ce type et avec ces dimensions devrait opérer dans des zones de mer proches de la côte et donc dans des conditions de mer pas extrêmement difficiles. Je préfère, d'autre part, l'utilisation de l'acier pour la construction des bateaux de service, pousseurs-remorqueurs, bateaux de guerre, etc., à bord desquels les conditions de services sont très sévères.

Dans cette catégorie de bateaux, le déplacement, donc le poids, n'est pas un paramètre important étant donné qu'on ne recherche pas de performance de vitesse, mais qu'on demande la fiabilité, un prix contenu et une manutention restreinte et facile.

L'acier satisfait bien à ces conditions et le fait que le poids du bateau ne soit pas un paramètre très important, permet l'utilisation de tôles d'une grande épaisseur étant donné qu'il faut tenir compte de la corrosion de ce matériel immergé.

Une des grandes différences existant dans le projet des bateaux en acier et en aluminium réside dans le type de construction prévu. Pour l'aluminium, on utilise une construction dite longitudinale, c'est-à-dire qu'on donne la priorité à un système de couples. Le premier type de construction est bien adapté à des coques très rapides, et ces dernières années, on a souvent utilisé aux Etats-Unis un type de construction appelé « *floating system* ». Etant donné que le module d'élasticité de l'aluminium est trois fois moins grand que le module de l'acier, pour pouvoir obtenir le même moment d'inertie, on est obligé de surdimensionner l'échantillonnage. Le « *floating system* » permet d'éloigner les éléments constructifs de l'axe du bordé. De cette façon, le moment d'inertie est augmenté sensiblement. Vous pouvez voir sur *les fig. 1 et 2* un type de construction classique et une construction dite « *floating* ».

On a publié maints ouvrages sur la construction en acier et en aluminium dans différents pays. Très souvent, déjà dans le premier chapitre, on a tendance à louanger excessivement le matériau qu'on préfère personnellement au détriment de

Photo A 57 : *Méridien. Architecte A. Mauric.*

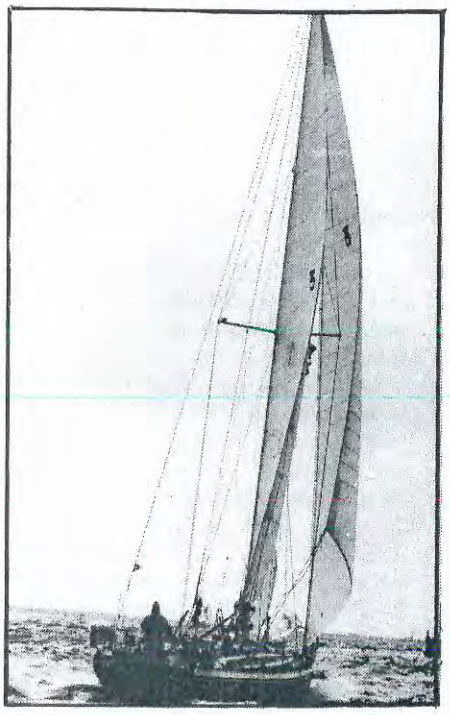
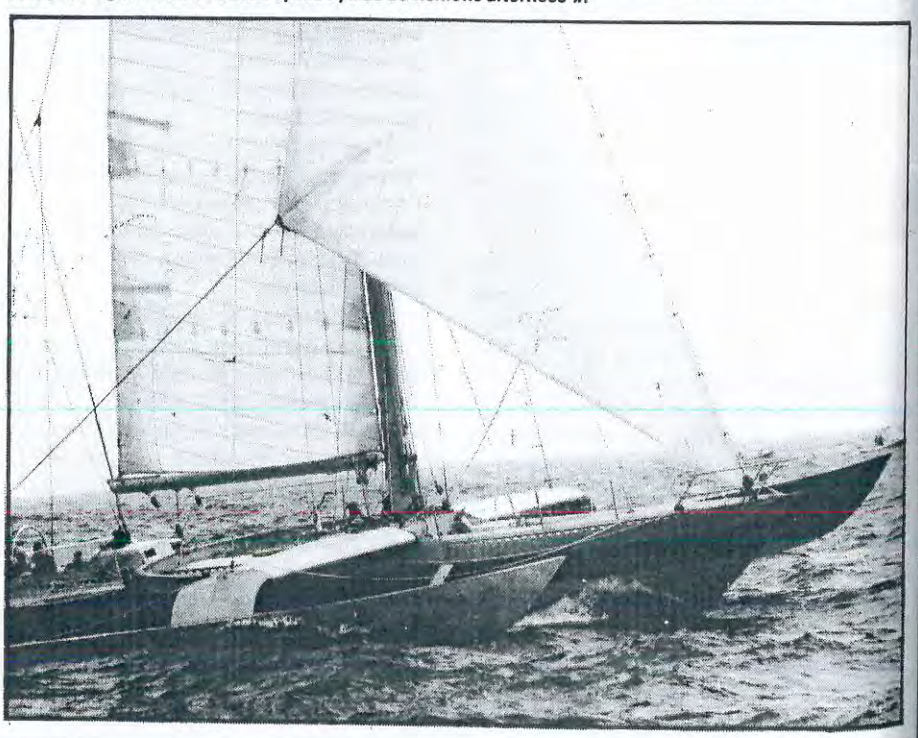
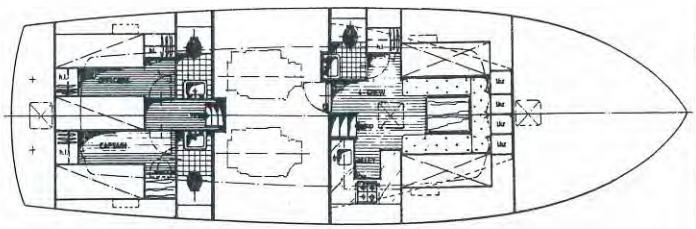


Photo A 58 : *« Kritter, le trimaran en aluminium, dont un flotteur se rompit peut être suite à une rupture par fragilisation du métal après cycles de flexions alternées ».*



Croquis A 140





l'autre, qui pourtant ne mérite pas de discrédit !

A priori, la concurrence entre l'acier et l'aluminium ne devrait pas exister. Il est très important et d'ailleurs souhaitable que les architectes soient toujours polyvalents et qu'ils puissent faire des projets de bateaux dans les différents matériaux.

CHANTIER DU PORT

Le *Chantier du Port* qui est un « *vieux* » chantier de construction s'est diversifié en construisant progressivement des bateaux en alliage léger.

Dans un premier temps, le chantier a étudié et lancé le Super Belouga I.O.R. dont la coque a été construite en AG4 MC selon un procédé original conçu par le chantier et dont nous parlons plus loin. Au cours de cette première phase de la diversification de ses activités, le chantier a sous-traité la coque en alliage léger et les superstructures en sandwich de polyester et Klégecell, se réservant les emménagements et les finitions.

Puis en 1981, le *Chantier du Port* a lancé le Mopelia 2000.

Les coques sont construites à bouchains vifs et de forte épaisseur, pratiquement sans structures — sans structures en alliage léger tout au moins car dans la résistance de l'ensemble interviennent les cloisonnages et en partie les emménagements.

Ces agencements réalisés en bois sont fixés à l'alliage léger par un procédé propre au chantier, qui utilise une résine spéciale déterminée à la suite de multiples essais en laboratoire. C'est ainsi que dans le Mopelia 2000, les bordés sont garnis à l'intérieur de lisses en bois entre lesquelles est collée une mousse polyuréthane. Le tout, lisses et mousse, est recouvert d'un vaigrage en contre-plaqué marine. L'intérieur de la coque apparaît donc parfaitement lisse, ne laissant apparent que le contre-plaqué sur lequel il est aisé de fixer les emménagements.

Nos bateaux sont à bouchains vifs. Pourquoi ce choix ? Les raisons tiennent aux antécédents du chantier qui a réalisé auparavant des bateaux en contre-plaqué, donc des coques à bouchains vifs.

L'évolution vers l'aluminium était d'autant plus aisée qu'on continuait selon cette forme de carène. En effet, il n'y a aucune différence dans la réalisation des plans. Les tracés grandeur en salle sont identiques. Le tracé des pièces aussi. Et même le découpage peut s'effectuer avec l'outillage à bois à peine modifié. La reconversion du personnel était aisée. Il a suffi de former des soudeurs.

La réalisation des coques est aussi dérivée de la construction bois en ce sens qu'elle utilise un moule qui, en l'occurence, est en creux. A l'intérieur du moule, les tôles d'alliage léger découpées au préalable avec précision, sont accostées et pointées puis soudées entièrement. La coque sort du moule pratiquement terminée puisqu'elle n'a pas de lisses ni de membrures soudées. Seuls les fonds reçoivent des varangues de renfort. Le procédé permet d'obtenir un état de surface parfait sans aucune déformation car on travaille sur des bordés de forte épaisseur et qui sont solidement fixés au moule. Sans déformation ? Pas tout à fait, car une étude précise du processus de soudure permet d'obtenir une déformation voulue, un léger bombement de chacun des bordés. L'effet de cette courbure est de donner un peu de volume, d'augmenter par l'effet de voûte la résistance du bordé aux efforts provenant de l'extérieur.

Enfin, sur le plan esthétique, les bouchains se trouvent adoucis.

Peu de temps après ces réalisations, le chantier a construit un moule pour la construction du Randonneur, bateau d'école de voile homologué par le ministère du Temps libre. La coque de ce croiseur, équipé de deux mâts wishbones, est construite selon le même procédé que les précédents et est pontée bois. La version croiseur côtier de ce bateau est légèrement différente puisque le cockpit des rameurs est remplacé par un roof. Le Mopelia 2000 est donc le seul de la série à posséder des superstructures en alliage léger. Pour cela, le chantier s'est orienté vers une solution qui consiste à utiliser au maximum des tôles pliées. Les seules soudures sont la liaison centrale et la liaison pont/coque.

C.I.C.R. (Constructeur)

Monsieur Cocco nous dit :

Nos procédés de construction sont classiques. Nous avons opté pour une ossature sur membrures et lisses, sur des coques à bouchains ou en formes.

Nous utilisons l'emboutisseuse presse ou la rouleuse. Le soudage se fait en TIG ou MIG. Nous découpons au plasma, par cisaillage ou « grignotage ».

BARBAROSSA
(Fabricant d'accastillage)

Voici les précisions que Jamil Sinno apporte quant aux fabrications italiennes de Barbarossa :

Campane stampate

Il s'agit d'un élément original de notre production, puisque nous sommes le seul fabricant européen à matricer et tremper nos poupées de winches en aluminium.

Outre la dureté superficielle accrue par le resserrement des chaînes moléculaires, ce procédé permet un état de surface irréprochable, très lisse, donc résistant à la corrosion.

Le traitement électrolytique en est également amélioré.

Campane fuse in conghiglia

Il s'agit du moulage en coquille des petits winches n° 3, 4, 6 et 9.

La modicité du prix de ces articles impose une solution plus économique.

Ingranaggi stampati

Il s'agit du matriçage à chaud suivi de la trempe des engrenages en bronze d'aluminium. Ce procédé concerne les engrenages de première importance. L'objectif est d'empêcher la déformation et les phénomènes de fluage.

Ingranaggi fusi in conghiglia

Pour les engrenages d'importance secondaire.

Alberi de transmissione de primaria import

En 316 SI ou 17/12 MO.

Alberi cli transmissione de seconda import

AISI 304.

Basamenti in bronzo

Il s'agit des socles et supports de mécanisme, en bronze moulé en coquille. Sur tous les modèles du 15 au 65.

Basamenti alluminio

Concerne les supports du mécanisme pour winches bas de gamme n° 3, 4, 6 et 9.

Cuscinetti

A partir du winch n° 9, tous ces articles sont équipés en roulements à aiguilles (AISI 316) sertis sur couronne bronze, et entretoises inox, afin d'éviter la mise en travers des roulements, phénomène caractéristique des cages nylon soumis à forte charge. Pour des raisons d'économie, les petits winches n° 3, 4, 6 sont montés avec palier téflon anti-friction.

Sur les winches n° 15 et 30, les roulements sont montés sur cages plastique. Notez que *Barbarossa* fait un usage intensif des roulements à aiguilles, puisqu'ils sont montés, dès le n° 40, sur tous les arbres de transmission, entre l'arbre lui-même, et le cylindre.

Sur les modèles haut de gamme 57 et 65, les satellites soumis aux efforts les plus importants sont également montés sur leur axe avec un roulement à aiguille.

Sur ces articles également, le poids de la poupée, sur la base du socle est repris par un roulement à billes en inox, au lieu du classique palier en nylon.

Maniglie

Manivelles de winches forgées.

Tipi ossidazione

L'anodisation *Barbarossa* est **réputée comme étant la meilleure de la profession.**

Deux types :

● Anodisation dure, d'une épaisseur variant entre 50 et 60 microns.

Extrêmement résistante à l'usure mécanique, y compris l'usage momentané de câbles d'acier, elle est surtout utilisée pour les poupées de winches, rollers, ou embouts de tangon.

Cette anodisation est la meilleure protection de l'investissement du plaisancier.

● Anodisation normale — 15 à 20 microns, utilisée pour les rails et articles secondaires.

Tous nos articles de fonderie, même le moindre rail, sont polis avant anodisation. *(Photo A57 et A58, croquis A 140).*

25

ALLIAGES DE FONDERIE

Les alliages de fonderie destinés à l'utilisation nautique sont principalement les alliages au magnésium A-G3T et A-G6 Be. Leur tenue à la corrosion marine est excellente et ils sont soudables.

On rencontre aussi, pour le moulage en moule métallique, les alliages au silicium A-S13, A-S7G 0,3 et A-S7 G 0,6. Ces derniers sont moulés sous pression en coquille. Leur résistance à la corrosion marine est également bonne.

Voyez les caractéristiques de quelques-uns de ces alliages et leurs états métallurgiques.

Désignation des états métallurgiques

Lettre : Y = Fonderie

1er chiffre : type de coulée
- 2 : sable.
- 3 : coquille.
- 4 : sous pression.

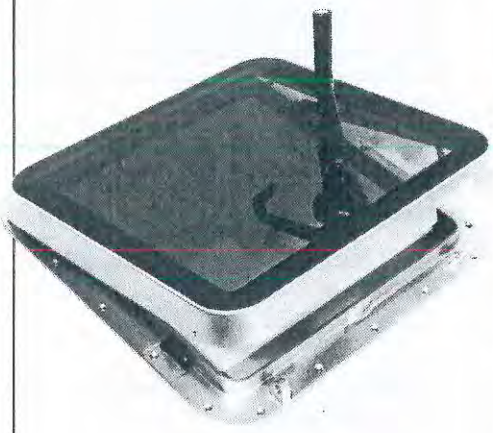
2e chiffre : traitement thermique
- 0 : sans traitement.
- 9 : trempe sur coulée et vieilli.
- 5 : trempe sur coulée et revenu.
- 4 : trempe séparée et vieilli.
- 3 : trempe séparée et revenu.

Ex. : Y 20, coulée sable, sans traitement thermique.

Photo A 60 : *Un avale tout. Pièce de fonderie d'aluminium (photo Barbarossa).*



Photo A 59 : *Un pannesu de pont. Le vitrage est collé sur le cadre en aluminium de fonderie (photo Barbarossa).*

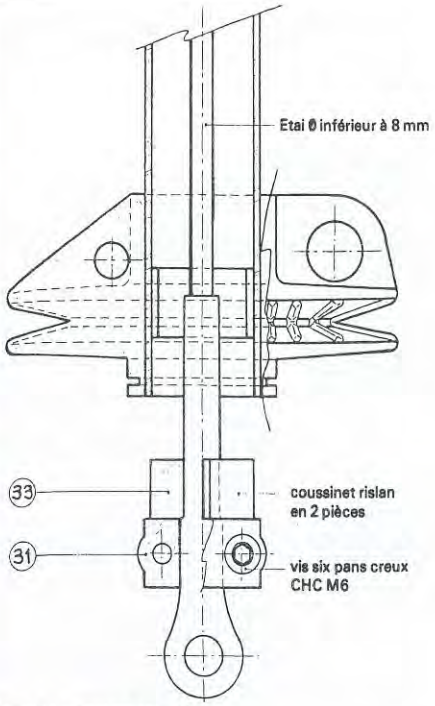


Alliages pour le moulage au sable ou en coquille :

Alliages		Etat	Cara de traction R MPa	Rp0,2 % MPa	A %	Dureté Brinell
AG3T	Sable	Y 20	180	85	12	60
	Coquille	Y 30	180	85	16	65
AG6 Be	Sable	Y 20	195	111	6	65
	Coquille	Y 30	220	120	9	70

Alliages Calypso pour moulage en moule métallique

Alliages		Etat	Cara de traction R MPa	Rp0,2 % MPa	A %	Dureté Brinell
AS13 (43 P)		Y 30	150	80	4	60
AS7 G0,3 (67 R)	Non revenu	Y 30	200	90	14	55
	Revenu à 150°C	Y 33	260	155	22	75
	Revenu à 160°C	Y 33	280	190	18	85
	Revenu à 170°C	Y 33	300	230	15	95
AS7 G0,6 (67 R 1)	Non revenu	Y 30	200	100	10	60
	Revenu à 150°C	Y 33	300	200	18	90
	Revenu à 160°C	Y 33	325	250	14	100
	Revenu à 170°C	Y 33	340	290	10	110



LEIFURL : montage sans ridoir

Croquis A 142 : ***Détail d'un enrouleur de foc. Dessin Lei System.***

(Photos A 59 et A 60, croquis A 142).

26

LES PIECES FONDUES

Il ne sera possible ici que de donner quelques généralités sur les alliages de fonderie et les procédés de moulage. Tout ce qui a précédé dans cet ouvrage concernait les alliages corroyés. Il est certain qu'on pourrait en dire autant sur les alliages de fonderie. Ce n'est pas possible.

On peut mouler l'aluminium de 99 à 99,99 % de titre. Mais pour ce qui nous concerne, on moule surtout les alliages.

Revoyez les premiers chapitres sur la symbolisation des alliages d'aluminium et la normalisation.

ALLIAGES POUR LA CONSTRUCTION NAVALE

Pour l'usage mer, on recherche des alliages ayant de bonnes caractéristiques mécaniques, une bonne soudabilité et une parfaite résistance à l'atmosphère marine.

On rencontrera surtout l'AG3T, l'AS2GT et principalement désormais l'AG6.

Ce sont des alliages au magnésium (symbole abrégé G), au silicium (S), et au titane (T).

On n'utilise pas d'alliages au cuivre à cause de la corrosion marine.

Le silicium apporte une excellente moulabilité et évite la criquabilité. Mais les difficultés d'usinage croissent avec la teneur en silicium.

Le magnésium n'a qu'une soudabilité médiocre mais apporte sa résistance à la corrosion marine. On ne force pas sur le titre en magnésium. La magnésium facilite l'usinage.

DESSIN DES PIECES

Epaisseur minimale

Il existe plusieurs types de moulages et l'épaisseur minimale varie d'un procédé à l'autre. En plaisance, on moule au sable de petites séries de pièces simples. C'est un procédé artisanal. Industriellement, on moule sous pression. Des abaques donnent l'épaisseur minimum d'après un procédé simple. On réduit les dimensions d'une pièce à un rectangle d'enveloppe. **Les formes courbes sont remplacées par leur projection. La « *dimension moyenne* » (D) est :**

$$D = \frac{\text{longueur} + \text{largeur}}{2}$$

Puis, on lit sur l'abaque de l'alliage moulé, de façon directe, l'épaisseur minimum.

Ces abaques figurent dans les ouvrages sur les alliages de fonderie édités par l'aluminium Péchiney.

Par exemple pour une pièce d'AG3T :

$$D = \frac{100 + 60}{2} = 80$$

L'abaque de l'AG3T indique l'épaisseur minimum de 3,25 mm.

Epaisseur maximale

Une pièce ne devrait pas dépasser 30 mm d'épaisseur pour bien venir en moulage au sable et 20 mm en coquille. Pour augmenter la solidité d'une pièce, on n'en augmente pas l'épaisseur, mais on lui dessine des cannelures, modulations, ailettes de renfort, nervures, formes en caisson. Les épaisseurs doivent être tenues aussi régulières que possible.

Le tracé

Le dessin des pièces doit être simplifié autant que possible. Il faut penser au démoulage et on peut être amené à laisser des pentes de démoulage appelées « *dépouilles* ». Il faut permettre l'adjonction de masselottes destinées à nourrir la pièce et faciles à scier. Il faut éviter les surépaisseurs dans les fonds et les accumulations de métal isolées où peuvent se produire des retassements et des criques. Il faut éliminer les angles vifs et les brusques changements d'épaisseurs.

Pièces moulées sous pression

Le dessin de pièces moulées sous pression est encore plus délicat que celui des pièces moulées en sable.

Il est possible de réaliser de faibles épaisseurs et, en règle générale, une faible épaisseur de la paroi est un avantage pour une bonne venue des pièces.

Les épaisseurs doivent être aussi régulières que possible. Il faut prévoir des dépouilles fortes. Les contre-dépouilles externes nécessitent l'emploi de noyaux démontables.

Il faut particulièrement simplifier les formes, éliminer les angles vifs et les brusques modifications d'épaisseurs.

TECHNIQUES DE MOULAGE

Voici les principales techniques de moulage.

● **Moulage au sable.** Dans un bac métallique, on place la « *forme* » qui donnera les dimensions de la pièce, entourée de sable fin. Le métal est coulé et remplace la « *forme* » faite dans un matériau fondant à faible température et qui s'élimine par une sortie. Dans le passé, on utilisait de la cire. Maintenant, on moule ces formes en polystyrène.

● **Moulage en coquille par gravité.** On coule le métal dans l'espace libre entre des matrices et noyaux rigides qui forment le moule. Ce moule est orientable et peut être basculé pour répartir la coulée. Le métal est coulé par le côté ou par le haut.

● **Croning,** appelé aussi Shell molding. C'est un procédé utilisant du sable additionné de résine thermodurcissable qui permet par projection sur une forme de tirer très rapidement des moules. Les demi-moules sont appelés « *masques* ».

● **Moulage en coquille sous basse pression.** On utilise une basse pression de gaz, 0,3 à 1 kg/cm² pour remplir l'empreinte du moule. Le moule est fixé au four et le remplissage se fait par la différence de pression.

● **Moulage sous pression.** On utilise une machine qui injecte le métal liquide dans un moule en acier. Il y a deux types de machines. Les machines à chambre chaude. Le creuset fait partie de la machine. L'injection se fait à l'air comprimé.

Les machines à chambre froide. Le réservoir de métal fondu est séparé du cœur où le métal est moulé. Le moule massif est composé de parties mobiles qui s'ouvrent.

MOULAGE AU SABLE

Le choix du sable

Le sable doit être très fin. On utilise des sables à teneur en argile de 10 à 15 %.

Indice de finesse pour les grosses pièces : AFS = 100 à 150.

Indice de finesse pour les pièces petites et moyennes : AFS = 120 à 170.

Perméabilité AFS supérieure à 40 pour grosses pièces, 30 pour les moyennes, 20

pour les petites. Sable bien travaillé, bien aéré, passé au diviseur avec une humidité de 4 à 6 %.

Les moules sont utilisés à « *vert* » et parfois « *flambés* ». Une descente de coulée est ménagée pour amener le métal fondu par le côté, parfois par le dessus. Un bassin est ménagé en haut de la colonne de la descente de coulée. On évite d'y faire un entonnoir de forme conique.

Des masselottes sont placées sur les parties les plus massives pour éviter les retassements. Le remplissage de ces masselottes est complété par le haut si nécessaire.

Elles sont réchauffées par des poudres exothermiques ou des manchons et calorifugées.

Des noyaux sont placés pour ménager la forme intérieure.

Le remplissage « *tranquille* » est obtenu en plaçant les attaques, entrées du métal, par le point le plus bas de la pièce. Pour éviter les retassures, on dispose des attaques sur toute la prériphérie de la pièce. Des « canaux » amènent le métal de la descente à ces attaques. On évite d'attaquer par une partie massive à moins que ce soit par l'intermédiaire de masselottes.

Exemple de calcul de coulée :

Poids de la pièce réalisée, 15 kg.

Poids brut de la coulée, 30 kg.

Débit pratique adopté, 1,4 kg/s.

Section de la descente de coulée, 500 mm².

Section totale des attaques, 1.000 mm².

Section du chenal simple, 600 mm².

Les masselottes sont dessinées trapues et pas trop hautes. Elles sont remplies directement ou par une coulée de réchauffage. Elles sont calorifugées. Elles évitent les retassures de parties épaisses de la pièce. Elles sont reliées à la pièce mais peuvent en être sciées facilement car une grille les en sépare.

MOULAGE SOUS PRESSION

Description

Toutes les machines sont composées d'une presse de fermeture du moule ; d'un dispositif d'injection du métal ; d'un réservoir de métal liquide, creuset ou four de maintien.

Dans les machines à chambre chaude, ce creuset fait partie de la machine. Le dispositif d'injection à gaz comprimé est au contact du métal en fusion.

Dans les machines à chambre froide, le creuset ou four de maintien est séparé ainsi que le système de pression. Le système de pression est composé d'un cylindre dans lequel glisse un piston.

L'ouverture du moule peut être hydraulique. Le moule est un ensemble complexe en aciers spéciaux, composé de broches, glissières, noyaux mobiles. Un moule peut garantir la reproduction de 200.000 pièces si on compte une pièce par injection. Mais une seule injection peut produire plusieurs pièces ensemble.

Un grand nombre de facteurs influencent les conditions de remplissage du moule : position, orientation et nombre des attaques, emplacement et nombre de masselottes... L'épaisseur des attaques sur la pièce peut varier de 1,2 à 3 mm. Les dépouilles doivent varier de 0,7 à 1,6 %. La santé de la pièce dépend des évents et des masselottes.

Pratique

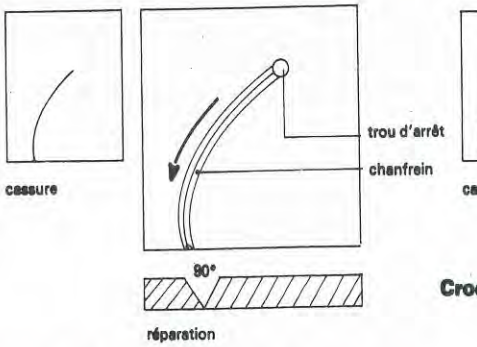
Le moule doit être préchauffé entre 240 et 300°C. Cette température dépend du type des pièces et de la disposition de la coulée. Elle doit être contrôlée. La pièce moulée peut coller au moule. Si on n'y remédie pas, le collage sera de plus en plus grand d'une injection à l'autre. On évite le collage par un parfait état de surface du moule et l'application régulière, au pinceau ou par pulvérisation, d'un film protecteur qu'on appelle « *poteyage* ». Les poteyages sont des huiles graphitées ou chargées de poudre d'aluminium.

La température de coulée est de l'ordre de 660°C. Elle passe à 720°C pour l'AG6.

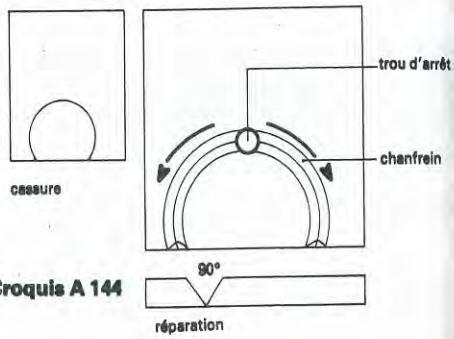
ASPECT ET QUALITE DES PIECES

NON VENUE - REPRISE

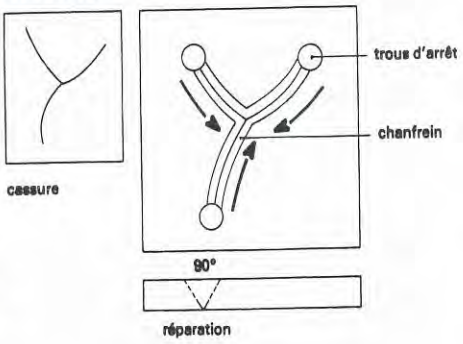
Causes	Remèdes
Mauvaise alimentation du moule	• Multiplier les attaques. • Revoir l'orientation des attaques. • Augmenter la vitesse de coulée. • Vérifier les sections des attaques.
Température trop basse	• Augmenter la température
Aération insuffisante	• Surveiller la perméabilité et le tassement (serre) du sable. • Ajouter des évents. • Revoir la cuisson des noyaux.
Moule localement trop froid	• Chauffer le moule. • Revoir la position des masselottes.



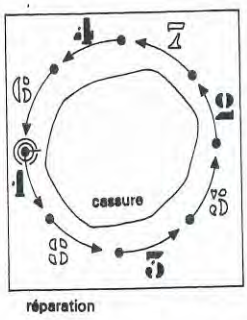
Croquis A 144



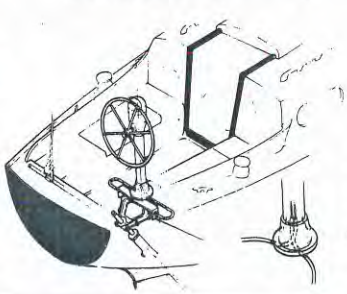
Croquis A 143 : *Réparation d'une pièce de fonderie cassée.*

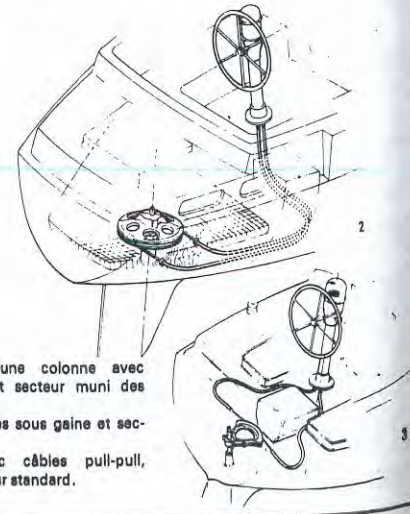


Croquis A 145



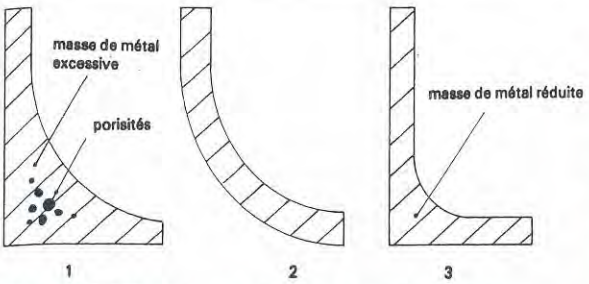
Croquis A 146





Croquis A 141 : *Mariage de l'inox, de l'aluminium filé et de l'aluminium de fonderie.*

1 - Installation d'une colonne avec câbles pull-pull et secteur muni des arrêts de gaine.
2 - Colonne, câbles sous gaine et secteur circulaire.
3 - Colonne avec câbles pull-pull, monté avec secteur standard.
Dessin Seimi.



Croquis A 148 : ***Conception d'un angle de pièce moulée.***

1 - Mauvaise conception, excès de métal, risque de porosités.
2 - Bonne conception, la meilleure des trois.
3 - Bonne conception.

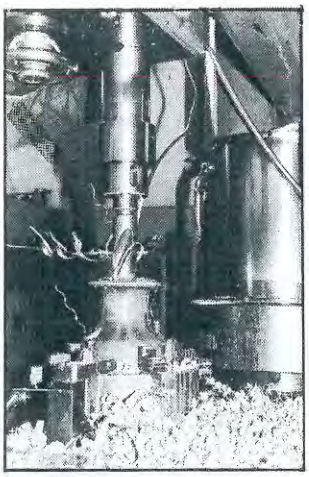
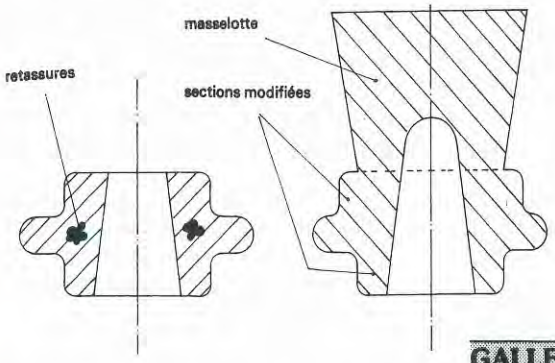
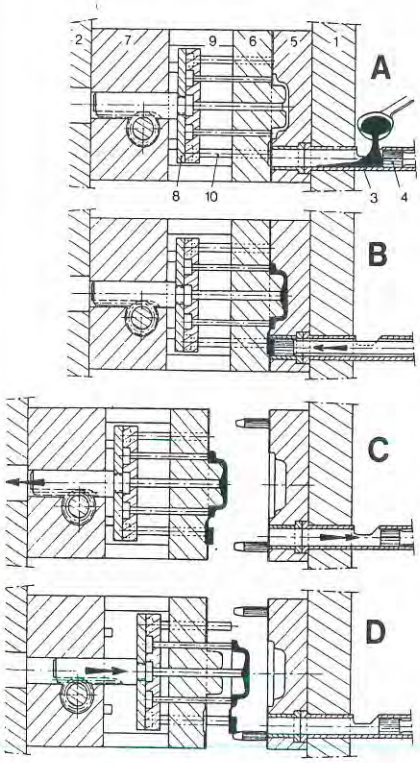


Photo A 63 : ***Usinage d'une poupée de winch (photo Barbarossa).***



Croquis A 149 : ***Modification du dessin d'une pièce et adjonction de masselotte pour éviter les retassures.***



A - Alimentation.
B - Injection du métal.
C - Ouverture du moule.
D - Ejection de la pièce.

1 - Plateau fixe.
2 - Plateau mobile.
3 - Cylindre d'injection.
4 - Piston presseur.
5 - Demi-moule bloc fixe.
6 - Demi-moule bloc mobile.
7 - Boîte d'éjecteurs.
8 - Support d'éjecteurs.
9 - Ejecteur.
10 - Rappel d'éjection.

Croquis A 147 : ***Machine à froid pour moulage sous pression, d'après un dessin de Péchiney.***

GALLE

Causes	Remèdes
Sable humide, non homogène, trop fin	• Refaire des essais de glanulométrie. • Rebroyer le sable. Le sécher.
Serre irrégulière Mauvais tracé de la pièce	• Eviter les coups de fouloir trop près de la pièce. • Revoir son dessin, adoucir les « congés ».

CRIQUES

Causes	Remèdes
Refroidissement inégal du métal	• Revoir la position des attaques. • Revoir la position des masselottes.
Mauvaise conception du moule et des noyaux	• Eviter les bavures qui gênent le retrait. • Revoir la serre du sable. • Eviter l'étuvage du sable. • Evider les noyaux. • Eviter les retassures par des masselottes.
Coquille trop froide	• La chauffer
Nature de l'alliage	• Prendre un alliage plus riche en silicium.
Mauvais dessin de la pièce	• Prévoir des dépouilles et des congés

RETASSURES

Causes	Remèdes
Solidification mal dirigée	• Revoir les masselottes et les refroidisseurs. • Réduire les masses par noyautage. • Abaisser la température de coulée. • Changer le poteyage.
Mauvais dessin de la pièce	• Diminuer les surépaisseurs ou les uniformiser.

PIQURES ET POROSITES GAZEUSES

Causes	Remèdes
Fusion du métal mal conduite	• Surveiller la température de fusion. • Eviter les traces d'humidité. • Employer des flux protecteurs. • Dégazer.
Malfaçon du moule	• Revoir le taux d'humidité du sable. • Sécher les noyaux. • Flamber le moule. • Fermer le moule peu de temps avant la coulée.

SOUFFLURES INCLUSIONS DE MOUSSE

Causes	Remèdes
Bulles d'air dans la coulée	• Rapprocher le bec de la poche de coulée du moule. Engorger le jet de coulée. • Employer une quenouille pour les grands moules. • Ne pas fractionner la coulée.
Coulée mal dirigée	• Revoir la position et les sections de la coulée, canaux et attaques.
Gaz provenant du moule ou des noyaux	• Vérifier l'humidité du sable. • Ménager des évents. • Aérer les noyaux. • Veiller à la cuisson des noyaux.

INCLUSIONS D'OXYDE

Causes	Remèdes
Fusion pas assez soignée	• Utiliser des flux désoxydants. • Ecrémer avant de couler. • Ne pas brasser la coulée. • Ne pas épuiser les fours de maintien. • Bien nettoyer les bords et le fond du creuset. Ne pas gratter pendant le puisage.
Mauvais dispositif de coulée	• Les remèdes sont ceux qui évitent les soufflures et les inclusions de mousse.

PIECES NON ETANCHES

Causes	Remèdes
Manque de compacité de la pièce dû à des micro-tassures et à des piqûres	• Voir les remèdes qui évitent les retassures et les piqûres.

On peut contrôler les pièces par les procédés de contrôle des soudures : rayons X et gamma, ressuage.

Il existe des traitements thermiques destinés à stabiliser les caractéristiques des pièces.

ANODISATION

La plupart des pièces de fonderie utilisées en équipement de pont sur les bateaux, sont anodisées.

Voyez le procédé de l'anodisation, il faut soigneusement polir les pièces au papier de verre ou à la brosse rotative. Des tourets permettent de polir les angles en creux. Pas de polissage, pas de bonne anodisation.

La plupart des alliages de fonderie ne tiennent pas à l'attaque de l'eau de mer et de l'atmosphère marine. Ils se piquent et se corrodent vite.

On trouve ainsi traitées toutes sortes de pièces de pont.

● Pièces de mât, pied, tête, embouts de barre de flèche. Embases de chandeliers et de balcons. Taquets, chaumards, daviers, bittes. Pièces de barre à roue, secteurs, cages de réas, cages de poulies, articulations de bômes.

● Embouts de bôme, de tangon, cloches. Pièces de moteur, hélices en A.G6. Poupées de winches, enrouleurs de focs.

Et naturellement toute la gamme des panneaux de pont, de descente, les hublots, les aérations fixes ou à dorade.

Bref, tout ce qui fait que nous pouvons utiliser nos bateaux et qui n'est ni en inox, ni en aluminium filé (mât), laminé (tôle), étiré (profilé), voire extrudé sur des bateaux de course. *(Photo A 63, croquis A 143 à A 149).*

27

LES ESPARS

Les espars sont l'ensemble des mâts, bômes, tangons et tubes divers utilisés sur le pont tels que tangonnets débordeurs dits « *jockey-pole* ».

Ils sont en alliage d'aluminium filé la plupart du temps, puis anodisés ou peints.

Ces tubes servent aussi à fabriquer des colonnes de barre à roue, des rallonges de barre (stick) voire des « *gaffes* », des pieds de tables.

Un numéro Hors Série concerne ces espars quant à leur conception et leur utilisation. Mon rôle est de vous décrire ici la mise en œuvre et les caractéristiques des alliages dont ils sont faits.

LES ALLIAGES

On choisit principalement l'A.GS et l'A.SGM.

L'A.GS est utilisé pour filer les profilés courants de section parfois complexe : fenêtres, profilés de décoration et de garniture de la liaison pont-coque des bateaux en polyester. Certains profilés d'encadrement de hublots ou des aménagements. L'A.GS se file avec une grande facilité.

L'A.SGM sert dans les applications nécessitant des caractéristiques mécaniques plus élevées. On le trouve en profilés filés ou en tôles qu'il est possible de rouler ou chaudronner.

COMPOSITION CHIMIQUE % (1) (Al : le reste)												PROPRIÉTÉS PHYSIQUES					TRAITEMENT THERMIQUE TYPE												
																	Trempe			Revenu		Matu-ration en jours à 20 °C	Stabilisation		ÉTAT
Fe	Si	Cu	Mg	Mn	Ni	Zn	Ti	Cr	Co	Pb	Sn	Masse spécifique g/cm³	Conductibilité thermique à 20 °C µ.th. cm/cm².s.°C	Résistivité à 20 °C µΩ.cm/cm (4)	Coefficient de dilatation entre 20 et 100 °C	Intervalle de solidification °C	Retrait moyen ‰	Chauffe Durée h	Chauffe Temp. °C ± 5	Milieu de trempe	Durée h	Temp. °C ± 5		Durée h	Temp. °C ± 5	(5)
Fe + Si + Cu ≤ 0,55 Cu ≤ 0,05			≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,10	≤ 0,10			≤ 0,05	≤ 0,05	2,70	0,50	3	24 × 10⁻⁶	658	16,5									Y 20 Y 30
≤ 0,70	≤ 0,90	≤ 0,10	≤ 0,10	3-4	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,20			≤ 0,05	≤ 0,05	2,75	0,25		23 × 10⁻⁶	700-658	18									Y 20 Y 30
≤ 0,65	≤ 0,65	3,5-4,5	1,2-1,8	≤ 0,30	1,7-2,3	≤ 0,10	≤ 0,20	≤ 0,20		≤ 0,05	≤ 0,05	2,80	0,38	5	22,5 × 10⁻⁶	635-525	14	6	615	eau ch.			5			Y 20 Y 24 Y 30 Y 34
																		6	515	eau ch.			5			
≤ 0,35	≤ 0,30	4,2-5	0,15-0,35	≤ 0,10	≤ 0,05	≤ 0,10	≤ 0,30			≤ 0,05	≤ 0,05	2,80	0,33	6	23 × 10⁻⁶	650-540	14	4	530	eau fr.			5			Y 24 Y 34
																		4	530	eau fr.			5			
≤ 0,80	2-4,5	6-8,5	≤ 0,15	≤ 0,40	≤ 0,20	≤ 0,30	≤ 0,30					2,85	0,34	4	22,5 × 10⁻⁶	615-515	12									Y 20 Y 30
0,6-1,3	≤ 0,80	9,3-10,7	0,15-0,35	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,10	≤ 0,20					2,95	0,42	5	21,7 × 10⁻⁶	635-525	13							8	210	Y 35
≤ 0,85	3,7-4,7	9,3-10,7	0,15-0,35	≤ 0,50	≤ 0,50	≤ 0,50	≤ 0,20					2,95	0,25	7	21,5 × 10⁻⁶	605-505	12									Y 30
0,8-1,2	1,9-2,8	1,15-1,5	0,05-0,15	≤ 0,10	1,15-1,5	≤ 0,20	≤ 0,20			≤ 0,10	≤ 0,05	2,75	0,40	4	22 × 10⁻⁶	635-560	13							15-20	170	Y 20 Y 25 Y 30 Y 35
																								15-20	170	
≤ 0,65	3,5-4,8	≤ 0,10	0,40-0,95	0,25-0,65	≤ 0,05	≤ 0,10	≤ 0,30		≤ 0,20	≤ 0,10	≤ 0,05	2,70	0,39	6	23 × 10⁻⁶	630-560	13	4	540	eau fr.	5	150				Y 20 Y 23 Y 30 Y 33
																		4	540	eau fr.	5	150				
≤ 1	4-6,5	2-4,5	≤ 0,15	0,2-0,7	≤ 0,30	≤ 0,50	≤ 0,20			≤ 0,10	≤ 0,05	2,75	0,37	5	21,5 × 10⁻⁶	615-525	13									Y 20 Y 30
≤ 0,45	6,5-7,5	≤ 0,10	0,20-0,40	≤ 0,50	≤ 0,05	≤ 0,10	≤ 0,20			≤ 0,05	≤ 0,05	2,68	0,38	4	21,5 × 10⁻⁶	610-570	12,5	8	540	eau fr.	4	160				Y 20 Y 23 Y 30 Y 33
																		8	540	eau fr.	4	160				
≤ 0,20	6,5-7,5	≤ 0,10	0,25-0,40	≤ 0,10	≤ 0,05	≤ 0,10	0,10-0,20			≤ 0,05	≤ 0,05	2,68	0,38	4	21,5 × 10⁻⁶	610-570	12,5	8	540	eau fr.	4	160				Y 23
≤ 0,20	6,5-7,5	≤ 0,10	0,45-0,60	≤ 0,10	≤ 0,05	≤ 0,10	0,10-0,20			≤ 0,05	≤ 0,05	2,68	0,38	4	21,5 × 10⁻⁶	610-570	12,5	10	540	eau fr.	6	170				Y 33
≤ 0,60	8,5-10	≤ 0,10	0,17-0,25	≤ 0,10	≤ 0,05	≤ 0,10	≤ 0,10		0,35-0,55	≤ 0,05	≤ 0,05	2,68	0,35	5	20,5 × 10⁻⁶	590-570	12	6	540	eau fr.	16	165				Y 20 Y 23 Y 30 Y 33
																		6	540	eau fr.	16	165				
≤ 0,65	9-10,5	≤ 0,10	0,17-0,35	0,25-0,5	≤ 0,05	≤ 0,10	≤ 0,10		≤ 0,20	≤ 0,05	≤ 0,05	2,65	0,36	4,5	20,5 × 10⁻⁶	590-570	12	6	540	eau fr.	10	160				Y 20 Y 23 Y 30 Y 33
																		6	540	eau fr.	10	160				
0,60-1,10	9,4-10,6	1,9-2,6	0,8-1,5	0,3-0,7	≤ 0,10	≤ 0,20	≤ 0,10			≤ 0,10	≤ 0,05	2,70	0,28	6	20,5 × 10⁻⁶	585-525	12							8	210	Y 25
																								8	210	Y 35
≤ 0,65	11,8-13,2	0,7-1,2	0,8-1,5	≤ 0,30	1,8-2,5	≤ 0,20	≤ 0,20			≤ 0,10	≤ 0,05	2,72	0,30	6	19,5 × 10⁻⁶	590-540	12							8	210	Y 35
≤ 0,75	11,5-13	0,5-1,5	0,8-1,5	≤ 0,30	0,5-1,5	≤ 0,20	≤ 0,10			≤ 0,10	≤ 0,05	2,72	0,38	6	19 × 10⁻⁶	565-520	12							8	210	Y 35
≤ 0,70	11-13,5	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,30	≤ 0,05	≤ 0,15	≤ 0,15		≤ 0,20	≤ 0,10	≤ 0,05	2,65	0,40	4,5	20 × 10⁻⁶	575	11									Y 20 Y 30
≤ 0,75	18-22	1-3	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 1,50	≤ 0,20	≤ 0,10			≤ 0,10	≤ 0,05	2,60	0,40		18 × 10⁻⁶	675-525	11							8	200	Y 35
≤ 0,85	20-22	1-2,2	0,8-1,3	0,3-0,8	0,8-1,6	≤ 0,20	≤ 0,20		0,8-1,6	≤ 0,10	≤ 0,05	2,68	0,30		17,5 × 10⁻⁶	700-520	11							4	320	Y 35
≤ 0,50	≤ 0,40	≤ 0,10	2,5-3,5	≤ 0,50	≤ 0,05	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,15		≤ 0,05	≤ 0,05	2,67	0,35	6	24 × 10⁻⁶	640-590	14									Y 20 Y 30
≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,10	3,5-4,5	≤ 0,30	≤ 0,05	0,9-1,45	≤ 0,20			≤ 0,05	≤ 0,05	2,65	0,31	5	24 × 10⁻⁶	640-570	13									Y 20 Y 30
≤ 0,50	≤ 0,40	≤ 0,10	5-7	≤ 0,50	≤ 0,05	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,20		≤ 0,05	≤ 0,05	2,64	0,30	7	24 × 10⁻⁶	630-560	12									Y 20 Y 30
≤ 0,80	≤ 0,30	0,15-0,35	0,4-0,65	≤ 0,40	≤ 0,05	4,5-5,5	0,15-0,25	0,15-0,35		≤ 0,05	≤ 0,05	2,80	0,33	6	23 × 10⁻⁶	660-600	15						> 30	10	180	Y 29 Y 25 Y 39 Y 35
																							> 30	10	180	

CARACTERISTIQUES GENERALES

Observez dans les tableaux suivants les caractéristiques mécaniques de ces deux alliages, leurs aptitudes technologiques, leur aptitude au pliage et au soudage.

Ces alliages, 6060 et 6061 (A.GS) et 6081 ou 6082 (A.SGM) sont des alliages au silicium, magnésium pour les éléments principaux et manganèse pour l'élément le moins important de l'A.SGM. Il en découle une bonne résistance à l'atmosphère marine ; une bonne résistance chimique globale ; des caractéristiques mécaniques favorables à leur emploi comme profilés de structure surtout pour l'A.GS (6060) qui est l'alliage privilégié des membrures, barrots, lisses, et autres fers de structure en L, T, U ou plats. Il est possible de les souder, mais au prix d'une certaine perte des caractéristiques mécaniques. Leur aptitude au formage est moyenne.

Particularités

L'A.SGM existe sous forme de profilés filés ou de tôles. Les profilés filés possèdent des caractéristiques mécaniques élevées à l'état trempé revenu, T6 ou T66. Sa limite élastique est comparable à celle de l'acier doux. Aussi convient-il à la fabrication de mâts.

L'A.GS possède une très grande facilité au filage de profils complexes dans des conditions économiques. L'A.GS est employé anodisé. L'état le plus souvent utilisé en profils filés est l'état trempé à l'air à la sortie de la filière et revenu (T5). Cela favorise l'obtention de grandes longueurs filées très droites mais avec des caractéristiques mécaniques moyennes.

Tableau I

PRODUITS DE FONDERIE
PIECES MOULEES PAR GRAVITE
EN ALUMINIUM ET ALLIAGES D'ALUMINIUM

Compositions chimiques.
Propriétés physiques.
Traitements thermiques.
Caractéristiques mécaniques.
Aptitudes technologiques.
Domaines d'application.

* Alliages normalisés (Norme NF A 57 702, Février 1960).
** Alliages devant être obligatoirement affinés.

(1) Ces compositions sont celles des pièces elles-mêmes et non pas celles des lingots qui servent à les préparer. Les autres éléments sont considérés comme impureté. Ils ne doivent pas individuellement dépasser 0,10 % en poids.

(2) Les chiffres en gras correspondent aux minima pour des éprouvettes coulées à part. Les chiffres en italique indiquent les caractéristiques minimales que l'on peut généralement obtenir dans les pièces elles-mêmes.

(3) **Légende :**
E = Excellent
B = Bon
A = Acceptable
I = Impropre

(4) La résistivité dépendant dans une large mesure du dosage des constituants, les chiffres sont donnés à titre indicatif.

(5) Y 20 coulé en sable, non traité thermiquement.
Y 23 — trempé et revenu.
Y 24 — trempé et mûri.
Y 25 — stabilisé.
Y 29 — traité suivant prescription.
Y 30 coulé en coquille, non traité thermiquement.
Y 33 — trempé et revenu.
Y 34 — trempé et mûri.
Y 35 — stabilisé.
Y 39 — traité suivant prescription.

(6) La dureté Brinell n'est donnée qu'à titre indicatif. Elle permet de différencier 2 alliages et de vérifier si le traitement thermique a été effectué. Contrairement aux métaux ferreux, elle ne donne pas d'indication sur les caractéristiques mécaniques. Elle ne doit pas être comparée à celle des métaux ferreux, ces mesures n'étant pas faites dans les mêmes conditions.

(7) En flexion rotative : éprouvette sans entaille ; durée : 10' alternances. Ces chiffres sont fonction des conditions opératoires. Ils sont donnés à titre indicatif, afin de permettre une comparaison entre les différents alliages d'aluminium.

(8) Lorsqu'une même case renferme 2 lettres superposées, la 1re se rapproche au moulage sable, la 2e au moulage coquille.

(9) Il est toujours possible de réaliser une pièce étanche, si le tracé de celle-ci, dans sa position de coulée, permet une alimentation correcte.

(10) Dans le cas des alliages à traitement thermique, l'assemblage ou la réparation par soudage de pièces brutes de fonderie doit être exécuté avant le traitement.

SYMBOLE	CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES (2)						APTITUDES TECHNOLOGIQUES (3)							RÉSISTANCE À L'ACTION		PRINCIPAUX DOMAINES D'APPLICATIONS
	Limite élastique (0,2 %) kg/mm²	Charge de Rupture kg/mm²	Allongement %	Dureté Brinell bille 10 mm 1 000 kg 30s (6)	Limite de Fatigue kg/mm² (7)	Module d'Élasticité kg/mm²	au Moulage (8)	à l'Étanchéité (9)	à l'Usinage	au Soudage (10)	au Polissage	à l'Anodisation de Protection	à l'Anodisation de Décoration	Atmosphérique	Air salin Eau de mer	
*A 5	3 — / 3,5 —	8 — / 8 —	30 — / 35 —	17 — / 17 —	— / —	6750	A	A	A	E	A	E	B	E	B	Appareils ménagers - Alimentation - Bâtiment - Electricité (Rotors - Raccords divers).
A-M 4	7 — / 8 —	8,5 — / 11 —	1,5 — / 2 —	35 — / 40 —	— / —	7000	A	A	A	E	A	E	A	E	B	Appareils ménagers - Electro-domestique (Brûleurs de cuisinières).
*A-U 4 NT	12 10 / 16 12 / 14 12 / 19 15	16 12 / 23 17 / 18 14 / 26 20	0,5 <0,5 / 0,5 <0,5 / 0,5 <0,5 / 0,5 <0,5	70 70 / 85 85 / 80 75 / 95 95	— / 9,5 / — / —	7200	B / A	B	E	A	A	B	B	A	I	Automobile - Motocycle - Aviation - Optique.
*A-U 5 GT **	19 18 / 20 20	30 23 / 33 25	5 3 / 7 5	90 90 / 90 90	11 / —	7000	B / A	B	E	A	B	B	B	A	I	Armement - Automobile - Aviation - Chemin de fer - Manutention - Mécanique - Mines - Motocycle - Textiles - Travaux publics - Electricité (Appareillage).
*A-U 8 S	11 9 / 12 10	15 12 / 18 14	0,5 <0,5 / 0,5 <0,5	75 75 / 80 80	5,5 / —	7200	E	E	E	A	A	I	I	A	I	Automobile - Mécanique - Divers : plaques-modèles.
*A-U 10 G	15 13	18 14	0,5 <0,5	110 110	—	7200	B	B	E	A	A	I	I	A	I	Pistons (Automobile - Motocycle).
A-U 10 S 4	18 16	19 17	0,2 <0,2	110 110	—	7200	E	E	E	A	B	I	I	A	I	Alliage à grande dureté à chaud (Electro-ménager).
*A-S 2 U	10 8 / 12 10 / 12 10 / 14 12	14 11 / 17 13 / 16 13 / 20 15	3 1,5 / 2 1 / 3 1,5 / 2 1	60 55 / 70 65 / 70 65 / 80 75	5 / 5	7200	B	B	B	B	E	B	B	A	I	Automobile - Aviation - Mécanique.
*A-S 4 G	8 8 / 10 14 / 9 9 / 18 16	14 11 / 23 17 / 17 14 / 25 19	1 0,5 / 1 1 / 1,5 1 / 1,5 1	50 50 / 85 85 / 60 60 / 85 85	5,5 / 7 / 6,5 / —	7200	E / B	B	A / B / A / B	E	E	B	A	E	B	Appareils ménagers - Appareillage électrique - Automobile - Bâtiment - Chemin de fer - Chimie - Cycle - Electro-domestique - Manutention - Marine - Mécanique - Mines - Motocycle - Textiles - Travaux publics.
A-S 5 U 3	9 7 / 11 9	15 13 / 20 18	1 0,5 / 2 1	65 60 / 70 65	5 / —	7600	E	B	B	B	A	A	I	A	I	Automobile - Mécanique.
A-S 7 G **	8 8 / 16 13 / 9 9 / 18 16	14 11 / 23 18 / 17 14 / 26 20	1,5 1 / 1,5 1 / 4 3 / 4 3	55 55 / 75 75 / 60 60 / 80 80	— / 7,5 / — / —	7400	E / B	E	A / B / A / B	E	B	B	I	E	B	
A-S 7 G 03 **	19 16	26 22	4 3	75 75	8	7400	E	E	B	E	B	B	I	E	B	Agriculture - Appareils ménagers - Automobile - Aviation - Bâtiment - Chemin de fer - Chimie - Cycle - Electricité - Manutention - Marine - Mécanique - Mines - Motocycle - Robinetterie - Textiles.
A-S 7 G 06	26 22	34 26	5 3	100 100	—	7400	B	E	B	E	B	B	I	E	B	
*A-S 9 KG **	8 6 / 16 12 / 10 9 / 18 15	16 12 / 24 18 / 18 14 / 25 19	4 2 / 3 1,5 / 4 3 / 3 2,5	50 50 / 80 80 / 55 55 / 85 85	— / 8,5 / — / —	7600	E / B	B	A / B / A / B	E	A	B	I	E	B	Armement - Automobile - Aviation - Chemin de fer - Marine - Mécanique - Mines - Appareillage électrique.
*A-S 10 G **	9,5 8 / 18 13 / 11 9 / 18 16	16 12 / 23 18 / 18 14 / 26 20	3,5 2 / 1,5 1 / 2 1,5 / 1,5 1	55 55 / 75 75 / 65 65 / 80 80	— / 8,5 / — / —	7600	E / B	B	A / B / A / B	E	A	B	I	E	B	Agriculture - Appareils ménagers - Automobile - Aviation - Armement - Chemin de fer - Chimie - Cycle - Electricité - Manutention - Marine - Mécanique - Mines - Motocycle - Textiles.
A-S 10 UG	15 14 / 16 16	17 15 / 20 17	<0,5 <0,5 / <0,5 <0,5	80 80 / 95 95	— / —	7600	B / E	B	B	B	A	A	I	A	I	Pistons (Automobile - Motocycle).
A-S12N2G**	18 16	20 17	0,5 <0,5	100 100	—	7600	E	B	A	B	A	A	I	A	I	Pistons (Automobile - Motocycle - Moteur Diesel - Compresseur).
*A-S 12 UN **	15 14	19 16	0,5 <0,5	85 85	—	7600	E	B	A	B	A	A	I	A	I	
*A-S 13 **	8 6 / 8 7	16,5 13 / 18 14	4 2 / 5 4	50 50 / 60 55	5 / 5,5	7600	E	E	A	E	A	A	I	E	B	Agriculture - Alimentation - Appareils ménagers - Automobile - Aviation - Bâtiment - Chemin de fer - Chimie - Cycle - Electricité - Electro-domestique - Manutention - Marine - Mécanique - Motocycle - Textiles.
*A-S 20 U **	12 10	18 14	0,5 <0,5	85 85	—	8250	B	A	A	A	A	I	I	A	I	Pistons (Automobile - Motocycle).
A-S22UNK**	16 13	17 14	<0,3 <0,3	100 100	—	8600	B	A	A	A	A	I	I	A	I	Pistons (Motocycle).
*A-G 3 T	6 5 / 7 5	16 12 / 18 14	6 4 / 8 6	50 50 / 60 60	5 / —	6900	A	A	E	E	E	E	E	E	E	Alimentation - Appareils ménagers - Automobile - Chemin de fer - Bâtiment - (quincaillerie d'appartement) - Chimie - Electricité - Electro-domestique - Marine - Mines - Textiles.
*A-G 4 Z	6 5 / 6 5	16 12 / 18 14	4 2 / 5 4	50 50 / 60 60	— / —	6900	A	A	E	B	E	E	E	E	B	Bâtiment (quincaillerie d'appartement) - Chemin de fer - Marine (quincaillerie).
*A-G 6	9 8 / 10 9	16 12 / 19 14	3 2 / 4 3	60 60 / 65 65	6 / —	6600	A	A	E	E	E	E	B	E	E	Alimentation - Appareils ménagers - Armement - Automobile - Bâtiment - Chemin de fer - Chimie - Electricité - Electro-domestique - Marine - Textiles.
*A-Z 5 G	13 13 / 14 14 / 13 13 / 15 15	20 20 / 20 20 / 23 23 / 20 20	5 5 / 3,5 3,5 / 8 8 / 5 5	60 60 / 60 60 / 65 65 / 65 65	7 / 6 / — / —	7200	B / A	B	E	B	E	E	B	B	B	Automobile - Cycle - Electro-domestique - Radio-navigation - Industrie pétrolière - Mécanique - Electricité (appareillage).

Outre les profilés de structure on en fait des tubes à usage divers moins coûteux que les tubes d'A.SGM. On en fabrique les profilés à gorges des étais creux et des enrouleurs de focs.

Dans un cas comme l'autre, on peut augmenter l'inertie des profils par des nervures, des surépaisseurs, des raidisseurs.

Selon leur poids au mètre, les profilés sont tirés en grande longueur.

Les profils peuvent être produits avec une grande précision dans les cotes et permettent des ajustages entre eux, des coulissages. Ce qu'on retrouve dans la possibilité d'emmancher des éléments d'étai à gorges l'un dans l'autre, de faire glisser les coulisseaux de grand-voile, d'enfiler dans les mâts des profils de gorges, des ferrures de tangons, etc.

Dans leur présentation anodisée ces profils peuvent être associés à des ferrures en acier inoxydable, sans risque de corrosion électrolytique.

On peut y pratiquer le vissage (à pas de vis auto-filetable) ou le rivetage inox.

La surface du métal ne doit pas être rayée, qu'elle soit anodisée ou naturelle. Ces rayures sont des amorces de corrosion et de rupture.

Traitement thermique de l'A.SGM

L'état T6 est obtenu par mise en solution à 535° C (entre 525 et 545° C). Ce traitement est suivi d'une immersion dans l'eau à température ambiante puis d'un revenu de 8 h à 165 ou 175° C ou de 16 heures entre 155 et 165° C. Ce revenu se fait dans un four ventilé. Le refroidissement se fait ensuite à la température ambiante, à l'air. La mise en solution peut avoir lieu dans un four à bain de sels ou à ventilation forcée. Pour obtenir les meilleures caractéristiques mécaniques, le temps doit être le plus court possible entre la trempe et le revenu. Si on attend une semaine entre ces deux opérations on note une baisse de 3 kg/mm² de la charge à la rupture et de 2 kg/mm² de la limite élastique. Un pré-revenu de 6 minutes à 170° C ou 2 minutes à 200° C permet d'attendre 7 ou 8 jours avant d'effectuer le revenu définitif. Les caractéristiques mécaniques seront alors proche de l'optimum.

L'A.SGM et l'A.GS se forgent assez bien à chaud (320 à 480° C) et se matricent bien.

Soudage

Les alliages 6060, 6061, 6081 et 6082 étudiés ici se soudent sous argon en TIG ou MIG. Les métaux convenables pour le fil de soudage sont l'A.S5, A.G4 ou A.G5.

Les caractéristiques mécaniques sont identiques dans chaque cas. Les alliages au magnésium sont préférables lorsqu'il doit y avoir des contraintes dynamiques, ce qui est le cas d'un mât.

Une vitesse de soudage trop lente a trop tendance à recuire le métal de base et peut déséquilibrer les réactions du profil. Des essais ont été effectués en soudage TIG sur des profils en A.SGM état T6. Les caractéristiques après soudage sont de l'ordre de 90 à 95 % de celles du métal dans son état « *trempé-revenu* » initial si la vitesse de soudage est de l'ordre de 380 mm par minute.

Voyez le tableau des caractéristiques de soudage sur des tôles d'A.SGM état T6 de 3 mm d'épaisseur, en procédé TIG, avec métal d'apport A.S5, A.G3, A.G4 et A.G5.

Collage

L'A.SGM et l'A.GS peuvent être collés. Ils doivent alors être décapés et dégraissés.

Le collage peut se faire à chaud avec résines époxy (Araldite-Ciba Geigy ou colle epoxy Sika) sous pression ou par gravité. On peut aussi contre-coller à chaud des fibres en long. Fibres de bore ou de carbone. Ces fibres doivent être totalement vierges de souillures, traces grasses, cassures, coupures. Dans le cas d'un contre-collage bien fait, les caractéristiques du profil peuvent être multipliées par 2,5 à 3. Plusieurs essais de mâts en A.SGM renforcés de fibres de carbone ou de bore ont été effectués sur des bateaux de type 12 M JI de la Coupe América, sur *Paul Ricard*, sur *Pen Duick 6* et récemment sur *ELF-Aquitaine* le catamaran de plus de 20 mètres de *Marc Pajot*.

Revêtement de surface

Ces alliages comme le reste du bateau peuvent être laissés nus à l'air libre. Mais ils se colorent alors d'une teinte grise peu esthétique. Cette couche a de plus le fâcheux défaut de salir les voiles. On préfère appliquer sur la surface un des traitements suivants :

- anodisation par bain,
- vernis,
- peinture.

Voyez le chapitre sur l'anodisation pour vous remettre son principe en mémoire. Vous vous souviendrez alors que l'alumine épaissie par l'anodisation forme une couche rigide et dure. Lorsqu'un mât, de section fine, doit être fortement sollicité en flexion sur un bateau de course, à gréement dit « *souple* », cette alumine finirait par se craqueler et serait alors plutôt une gêne. Elle risquerait de développer dans ses fentes, une corrosion qui amorcerait des ruptures. Aussi, pour des bateaux de course dont les mâts peuvent être cintrés et doivent travailler à 100 % de leurs possibilités mécaniques, on préfère ne pas utiliser l'anodisation. On dit aussi que la trempe en eau bouillante de l'anodisation peut recuire le métal et le « *ramollir* », enlever de sa nervosité, donc lui faire perdre de son nerf si précieux dans le clapot. Par contre, pour les bateaux de série et les unités de croisière, le mât reste à peu près droit et en tout cas n'atteint pas la limite de rupture par flexion de l'épaisseur anodisée. C'est alors le meilleur procédé pour garder au mât un bel aspect et le protéger des attaques du sel et du soleil.

Il faut veiller à ne pas laisser une drisse métallique ou tout autre objet dur battre contre la face du mât car l'anodisation serait rayée et le métal mis à nu ce qui localement pourrait entraîner une corrosion par piqûres.

Les mâts de compétition sur des unités de pointe seront plutôt peints, voire vernis.

Le vernis sera réservé aux unités très sophistiquées.

Les mâts peints sont maintenant les plus nombreux en compétition. On peint aussi les bômes et les tangons dans un évident souci de coordination esthétique.

Il arrive aussi que, pour des raisons de longueurs de profilé importantes dépassant les longueurs habituelles, des bains d'anodisation (15 à 15,50 mètres), on choisisse de les peindre plutôt que de les anodiser. Des raisons économiques peuvent mener au même résultat. On peint un mât comme une coque et je vous invite à vous reporter à ce chapitre sur les peintures pour en suivre le détail. On décape, peint le primer puis l'apprêt et les couches de finition qui peuvent être de polyréthane plutôt que d'époxy qui est plus rigide.

MÂTS NON FILES

Pour la compétition, par exemple pour les 12 mètres JI, on préfère parfois des mâts en tôle d'A.G4 MC plutôt que des mâts filés en A.SGM. La raison est que le profil de tels mâts n'est pas constant. Pour optimiser les caractéristiques mécaniques du mât à chaque niveau de sollicitation (pied de mât, barres de flèche, ancrages du gréement antéro postérieur, tête de mât), on affine le pied et surtout la tête. Un profil filé peut être refendu et soudé, ce qu'on appelle le rétreint. Mais les soudures de ces rétreints combinées à celles de la fixation de l'équipement affaiblissent considérablement un profil ou obligent à passer à un profil supérieur, ce qui est inconcevable sur des bateaux où on dépense tant d'argent pour gagner quelques grammes. Alors, on découpe et assemble par rivetage des tôles d'A.G4 MC, A.G 4,5 MC, A.G5 voire des tôles d'A.SGM. L'absence de soudures, l'optimisation des sections du profil, le recouvrement étudié des tôles doublées aux endroits les plus sollicités, produisent les mâts les plus solides pour le moindre poids. Ces mâts ne sont jamais anodisés. Ils sont laissés nus, vernis ou peints. Ils peuvent aussi être contre-collés de fibres synthétiques, ce qui était par exemple, le

CARACTERISTIQUES MECANIQUES GARANTIES

Les valeurs indiquées sont des valeurs minimales

(1) Valeurs hors-norme

PROFILÉS FILÉS en A-SGM et A-GS

Alliage	ETAT	SECTION S mm²	Charge de rupture garantie R kg/mm²	Limite élastique garantie $E_{e,t}$ kg/mm²	Allongement %
A-SGM	T 6 trempé-revenu	S ≤ 8 000	29	24	8
	T 66 trempé-revenu à hautes caractéristiques	S ≤ 2 000 et e ≤ 4	32	26	8
		2 000 < S ≤ 8 000 et e ≤ 4	32	25	7
		e > 4	31 (1)	25	7
A-GS	T 4 trempé-mûri	S ≤ 2 000 et e ≤ 4	14	8	16
		2 000 < S ≤ 8 000 et e ≤ 6	13	8	15
	T 5 revenu	S ≤ 2 000 et e ≤ 4	20	15	12
		2 000 < S ≤ 8 000 et e ≤ 6	18	13	10
	T 6 trempé-revenu	S ≤ 2 000 et e ≤ 4	23	18	10
		2 000 < S ≤ 8 000 et e ≤ 6	22	17	8

SOUDAGE

METAL DE BASE	METAL D'APPORT	CONDITIONS DE MESURES	Caractéristiques mécaniques mini.		Rayon de pliage minimal sur cordon
			$LE_{e,t}$ kg/mm²	R kg/mm²	
A-SGM T 6		Avant soudage	24	29	
	A-S5	Après soudage, Cordon non arasé	14	20	9 e
	A-G3 A-G5	Après soudage, Cordon non arasé	16	21	7 e

APTITUDES TECHNOLOGIQUES

A = acceptable
B = bon
E = excellent
I = impropre

	Etats	Résistance aux agents atmosphériques			Aptitude au formage à froid	Aptitude à l'usinage	Aptitude au soudage*		
		rurale	industrielle	marine			Brasage	A l'arc a/argon	Par résistance
A-SGM	O	B	B	A	E	I	E	E	B
	T 4				B	A	E	B	E
	T 6				A	A	E	B	E
	T 61				B	A	E	B	E
	T 66				I	B	B	B	E
A-GS	O	E	B	B	E	I	E	E	B
	T 4				B	A	E	E	E
	T 5				B	A	E	E	E
	T 6				A	B	E	B	E

* *Le soudage oxy-acétylénique n'est pas recommandé pour ces alliages; si l'on choisit d'utiliser cette technique, il faut procéder à un nouveau traitement thermique après soudage.*

RAYON MINIMUM DE PLIAGE A 90°

EPAISSEURS	RECUIT	T 4 trempé-mûri	T 6 trempé-revenu	T 61 trempé-revenu doux
e = 0,4 à 0,6 mm	1 e	0,5 e	1 e	1 e
e = 0,8 à 1,0 mm	—	1 e	2 e	—
e = 1,2 à 1,6 mm	—	1 e	2,2 e	—
e = 1,6 à 3,2 mm	—	2 e	2,5 e	1,5 e
e = 3,2 à 6 mm	2 e	3 e		3 e
e = 6 à 12 mm	2 e	4 e		3 e

COMPOSITION

Normes

Pr A.57.650 Produits semi-ouvrés en aluminium et alliages d'aluminium, produits laminés d'usage courant.

Pr A.57.350 Produits semi-ouvrés en aluminium et alliages d'aluminium, produits filés et filés étirés d'usage courant.

COMPOSITION		Si	Mg	Mn	Cu	Fe	Zn	Ti	Cr	Al
A-SGM 6081 6082	Mini	0,6	0,6	0,1	—	—	—	—	—	le reste
	Maxi	1,6	1,4	1,0	0,10	0,5	0,25	0,2*	0,3	le reste
A-GS 6060 6061	Mini	0,3	0,4	—	—	—	—	—	—	le reste
	Maxi	1,0	1,0	0,1	0,25	0,4	0,1	0,2*	0,1	le reste

* Ti + Zr ⩽ 0,2

cas du mât très cintré de Lionheart, 12 mètres JI Anglais.

Voyez ci-après les caractéristiques de quelques mâts et leur longueur standard en fonction de leur poids au mètre.

Section mm	Poids/mètre kg/m	Inerties cm4	Long. standard m
143 x 105	3,000	IX = 260 IY = 145	10
185 x 125	5,000	IX = 627 IY = 340	12
205 x 145	6,200	IX = 1000 IY = 590	14
240 x 170	8,400	IX = 1800 IY = 1050	15
290 x 192	11,000	IX = 3450 IY = 1800	9

Comparez aussi ces mâts filés de la célèbre marque Suisse Nirvana :

Réf.	Section mm	Poids/mètre kg/m	Epaisseur mm
02	460 x 320	30,200	8
01	375 x 285	20,194	6
0	322 x 240	15,215	5
2	227 x 146	8,300	4,2
3	205 x 114	5,400	3
4	184 x 128	5,000	3,2

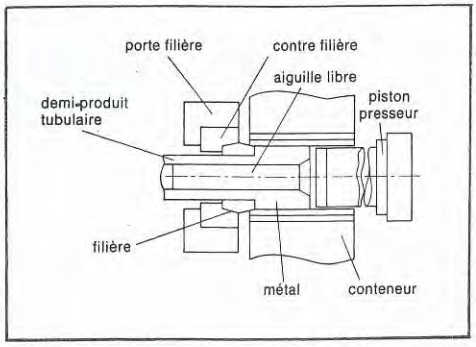
CARACTERISTIQUES MECANIQUES GARANTIES

(Les valeurs indiquées sont des valeurs minimales sauf pour la charge de rupture et la limite élastique de l'A-SGM recuit).

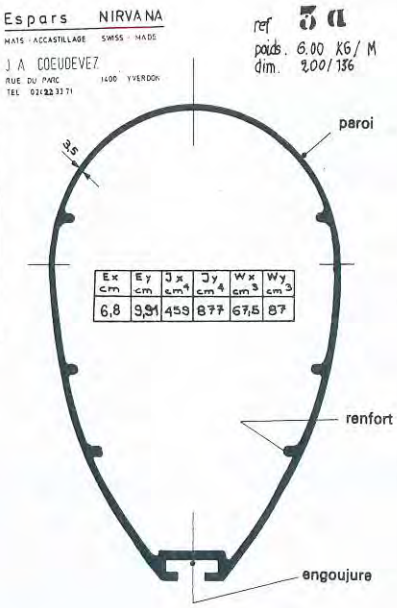
TOLES en A-SGM

ETAT		EPAISSEUR	Charge de rupture garantie R kg/mm²	Limite élastique garantie $E_{e,t}$ kg/mm²	Allongement %
0	A-SGM recuit	0,4 ⩽ e ⩽ 12	maxi 16	maxi 9	18
T 4	A-SGM trempé-mûri	0,4 ⩽ e ⩽ 12	22	11	18
T 6	A-SGM trempé-revenu	0,4 ⩽ e ⩽ 3,2	29	24	10
		3,2 < e ⩽ 6	29	24	9
		6 < e ⩽ 12	28	24	9
T 61	A-SGM trempé-revenu doux	0,4 < e ⩽ 6	25	18	18
		6 < e ⩽ 12	25	18	16
T 66	A-SGM trempé-revenu à hautes caractéristiques	0,4 ⩽ e ⩽ 1,6	32	26	8

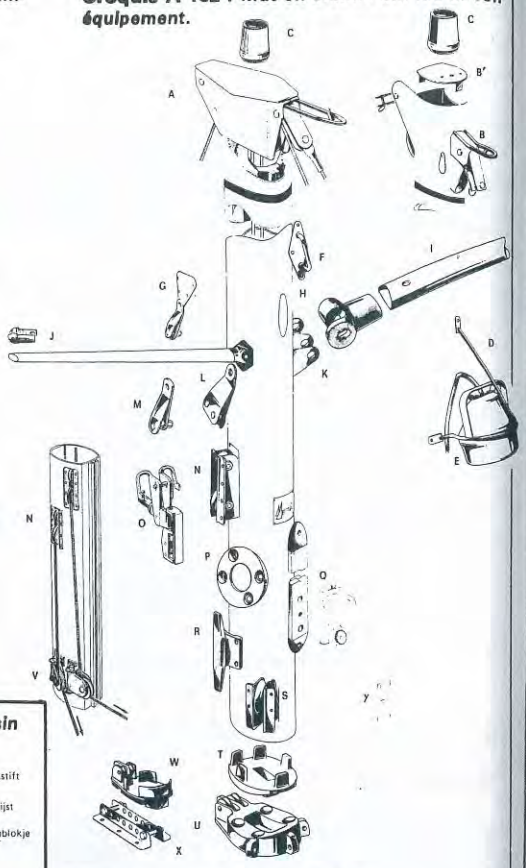
Croquis A 150 : ***Principe de filière pour tubes d'aluminium (dessin Scodal).***



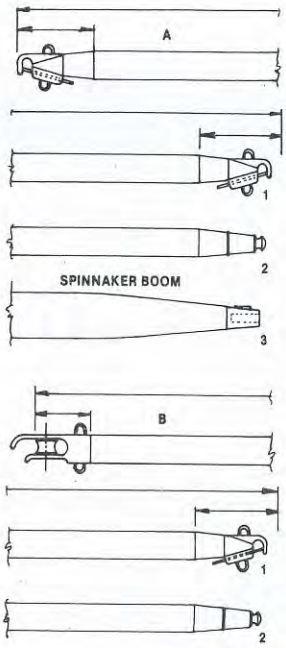
Croquis A 151 : ***Une coupe de mât en aluminium filé.***



Croquis A 152 : ***Mât en aluminium filé et son équipement.***



Croquis A 153 : ***Détails d'espars Rondal (Dessin Rondal-Huisman).***



	Diameter	Lengte
A	40 mm	2.00 m - 2.90 m
	50 mm	2.85 m - 3.10 m
	63 mm	3.10 m - 3.75 m
	76 mm	3.75 m - 4.20 m
	100 mm	4.20 m - 5.00 m
	120 mm	5.00 m - 5.70 m
	127 mm	5.70 m - 6.00 m
	6" - 8"	6.00 m
B	50 mm	1.30 m - 1.90 m
	76 mm	1.90 m - 2.40 m
	100 mm	2.40 m - 2.80 m
	120 mm	2.80 m - 3.40 m

Croquis A 154 : ***Vitrage coulissant en aluminium filé (dessin Rhigo).***

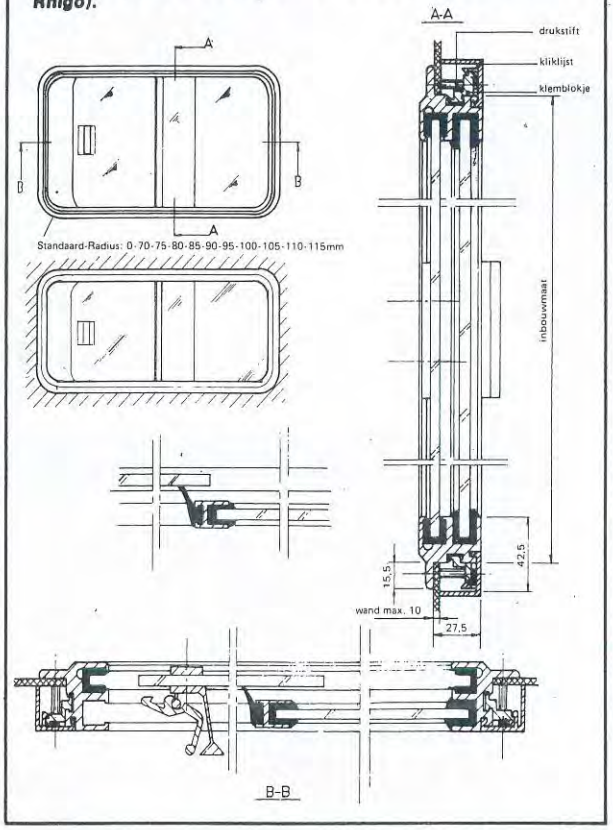




Photo A 65 :

Tête de mât Rondal (photos Rondal-Huisman)

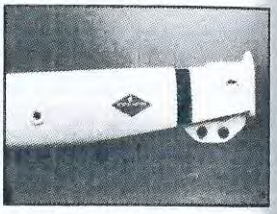


Photo A 66 : ***Enrouleur de grand-voile dans un mât Nirvana***

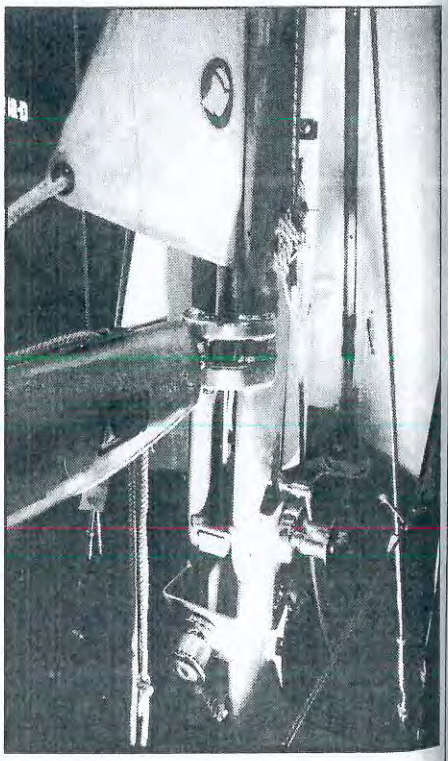
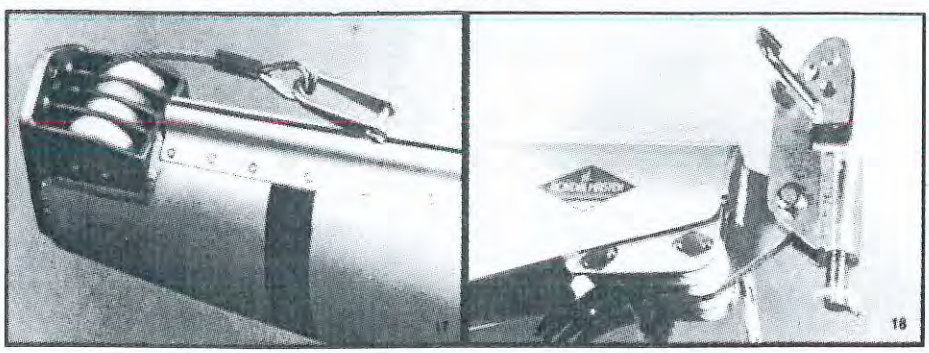


Photo A 64 : ***Embouts de bôme (photos Rondal-Huisman)***



Voyez aussi le numéro Hors Série de Loisirs Nautiques 15 « Tout sur le pont » où vous trouverez des données pratiques sur la conception et l'utilisation des espars. *(Photos A 64 à A 66, croquis A 150 à A 154).*

28

L'ANODISATION

L'anodisation est un procédé de protection de surface des alliages d'aluminium et de l'aluminium par un procédé électrolytique qui substitue à la fine couche d'alumine une couche, plusieurs centaines de fois plus épaisse, d'un autre oxyde.

L'épaisseur d'alumine est de quelques centièmes de micron. L'épaisseur d'une anodisation est d'une dizaine de microns, voire d'une centaine de microns.

PROPRIETES DE LA COUCHE ANODISEE

● Cette couche d'anodisation a les propriétés chimiques de l'alumine. C'est une alumine monohydratée. Elle est surtout utile en milieu de ph entre 4 et 9 et plus efficace en milieu acide que basique. Elle peut protéger le métal contre une corrosion galvanique car elle est isolante. Elle est incolore et non toxique.

● Elle est un matériau différent de l'aluminium avec des propriétés physiques et mécaniques particulières que montre le tableau suivant.

Propriétés	Aluminium	Alumine
Dureté Bierhaum	80	180 à 1.250
Fusion T° C	658	2.100
Coefficient de dilatation	$23\ 10^{-6}$	$5\ 10^{-6}$
Conductibilité thermique μ th cm/cm²	0,5 à 1	0,05 à 0,015
Résistivité électrique OHM cm²/cm	$2,8\ 10^{-6}$	$4\ 10^{-15}$
Chaleur spécifique de 20 à 100° C μ th/g° C	0,23	0,200
E kg/mm²	6.700	3.600 à 5.200
A %	4 à 35	0,3 à 0,5

On remarque entre autres choses sur le plan mécanique la rigidité plus grande dans le sens de la limite élastique E et l'allongement A dix fois moindre.

L'anodisation sera dure mais pas élastique, cassante. Nous verrons comment cela limite son utilisation pour les bateaux. A ce sujet, vous lirez le chapitre sur les mâts et les espars.

PRINCIPES DE L'ANODISATION

L'anodisation est aussi appelée oxydation anodique, alumilitage, eloxalage. Les alliages d'aluminium placés dans un électrolyte acide dilué avec un métal plus noble, deviennent anodes, réagissent avec l'oxygène et se couvrent d'une pellicule résistante à l'oxydation ; l'alumine.

Considérons un électrolyte d'acide sulfurique dilué dans lequel on fait passer un courant continu. Lorsqu'on y place deux électrodes en nickel, on constate lors du passage du courant un dégagement gazeux sur chaque électrode. De l'hydrogène se dégage à la cathode et de l'oxygène à l'anode.

$$H_2O \longrightarrow H^+ + OH$$
$$2OH^- \longrightarrow H_2O + 1/2\,O_2$$

Si on remplace l'anode de nickel par une pièce en aluminium, le dégagement gazeux s'y arrête. L'oxygène réagit avec l'aluminium et produit l'alumine. Les procédés d'anodisation utilisent les propriétés diélectriques (redissolution de la couche d'oxyde protectrice) de l'alumine.

La pellicule d'alumine correctement formée atteint 5 à 30 microns en milieu sulfurique ; n'entrons pas dans les très petits détails de sa formation autour de pores à la surface du métal. La structure de l'anodisation est du type « nid d'abeilles ».

COLORATION

La couche d'oxyde formée est très poreuse. Cette porosité permet l'absorption de colorants que les opérations suivantes enfermeront dans les pores du *« nid d'abeilles »*. On colore l'alumine en or, blanc, noir, bleu, brun et toute une gamme de couleurs variées mates ou brillantes. Il existe deux méthodes de coloration, Eurocolor 100 (anodisation autocolorée) et Eurocolor 800 et 900, coloration électrolytique.

COLMATAGE

La structure poreuse de l'anodisation ne peut rester ainsi car elle n'est pas protectrice. Il faut reformer les pores. C'est la colmatation ou le colmatage. Le colmatage est une hydratation de l'alumine. L'alumine anhydre est transformée en monohydrate d'alumine (Al_2O_3, H_2O). Il en existe une variété naturelle, la Boehmite. C'est un corps très stable qui ne se déshydrate qu'au-dessus de 400° C. Ce bain d'eau bouillante gonfle les pores et resserre la structure qui reste dure, transparente, non conductrice de l'électricité. Elle isole le métal chimiquement et électrochimiquement. Du fait même de la trempe en eau bouillante et à cause de la dureté de la couche d'oxyde, les caractéristiques générales d'une pièce anodisée sont transformées. Ainsi une tôle anodisée ne pourrait ni être roulée, ni pliée.

L'anodisation ne tient pas sur des arêtes vives.

Elle conviendra donc à des pièces de formes simples plutôt douces et peu sollicitées à la flexion.

Cet élément sera détaillé au chapitre des espars. *(Photos A 67, croquis A 155 à A 158).*

L'anodisation convient parfaitement à la protection des pièces de fonderie : taquets, etc.

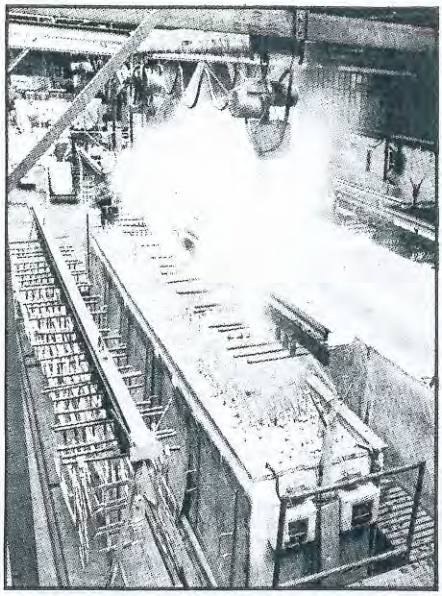


Photo A 67 : ***Bains d'anodisation. Ici, des encadrements de hublots (photo Goïot).***

29

KIT ET COQUE PONTEE EN ALUMINIUM

Alors que je suis très inquiet de voir que les constructeurs amateurs ne paraissent pas lucides quant à la diffusion de la construction individuelle en aluminium, je suis assez optimiste quant au développement du marché de la coque pontée sinon du kit qui pose le même problème que celui énoncé dans le chapitre correspondant sur l'acier.

Tout au moins pour la coque pontée de *« petite taille »*, en dessous de 15 m.

On trouve déjà des coques pontées de toutes tailles dans lesquelles on peut faire son choix. Au fond, il n'y a pas d'indications particulières à donner si ce n'est signaler les particularités d'une coque pontée en aluminium par rapport à une autre coque pontée métallique.

Avec un petit poste à souder l'amateur, qui a acheté une coque en acier, peut l'équiper d'un certain nombre de pièces soudées qui, ainsi, ne faisaient pas partie de l'inventaire d'origine, ni du prix d'achat. Il peut souder les pieds de chandeliers et balcons, le ber moteur, le tube d'étambot, des platines pour l'accastillage.

En aluminium, c'est la différence, il ne pourra guère être question pour le particulier de souder quoi que ce soit. L'inventaire de ce matériel soudé devra donc être très précis et détaillé. Ce qui n'aura pas été soudé devra être boulonné. Ce qui est regrettable quand on

sait qu'un avantage primordial d'une coque en métal est l'étanchéité de ses assemblages et de sa matière même. Percer des trous à travers le pont est l'annonce d'une fuite, tôt ou tard !

Comme une coque pontée en aluminium à équipement égal est plus chère d'environ 30 % qu'une coque en acier ; comme il lui faut un équipement soudé plus complet, on comprend que les coques pontées en alliage d'aluminium soient proposées à plus de 50 % plus cher que les coques en acier.

La clientèle sera donc assez différente, plus aisée et avec des visées plus modestes quant au travail à achever dans le bateau et quant au rayon d'action futur. La moyenne d'âge de cette clientèle est d'ailleurs plus élevée.

Ce qui est triste et alarmant c'est que certains constructeurs veulent répondre à la demande de jeunes clients moins fortunés, par des coques en aluminium à l'inventaire incomplet et à la qualité douteuse.

C'est ce genre de propositions malsaines qui porte ombrage à ce matériau très intéressant. Hélas, il n'y a que l'expérience de constructions mal faites qui, peu à peu, écrèmera ce marché très délicat. Comment savoir, pour le néophyte, si le prix très élevé demandé par un constructeur est justifié alors qu'à côté on va lui proposer une coque de la même taille bien moins cher ? Ce serait de la démagogie de l'inciter à exiger des vérifications de soudures par des procédés aussi élaborés que les rayons X. Démagogique, car tous les constructeurs ne peuvent pas s'offrir ce luxe. L'analyse optique des soudures est déjà une bonne approche. Des cordons boursoufflés, épais, en vagues avec des caniveaux, des cratères à leur départ, seront mauvais signe. Pour paraphraser Prévert je dirai *« signe que vous ne devez pas signer »* ! Des cordons plus lisses, réguliers à fleur de métal, seront un meilleur signe. Sinon que vous *« pouvez signer »* tout au moins que vous pouvez aller plus avant dans votre démarche. Et cette analyse optique ne coûte rien, peut être faite par vous-même. Une analyse par ressuage de l'étanchéité des soudures sera aussi facile à mettre en œuvre et devra être acceptée par le constructeur tout simplement, car, de lui-même, il aura dû mettre en œuvre ce contrôle, client ou pas ! Les liquides du ressuage devront être nettoyés au trichloréthylène avant de préparer la tôle à être peinte.

En résumé, il faut bien admettre que la construction en aluminium est assez délicate pour ne pas être mise entre toutes les mains ; que les solutions économiques en acier ne mettent pas souvent en cause la solidité du bateau, en aluminium si ! Qu'il faut veiller à ne rien oublier de ce qui doit être soudé sur le pont ou dans la coque ; qu'il faudra être très vigilant quant à la qualité de la construction.

Photo A 68 : *Vulcain 6 (photo Brument).*

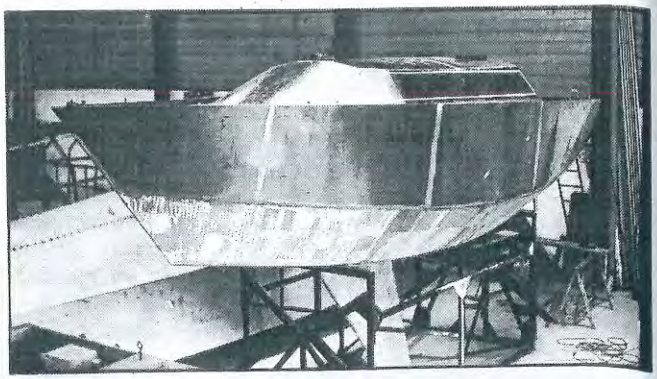
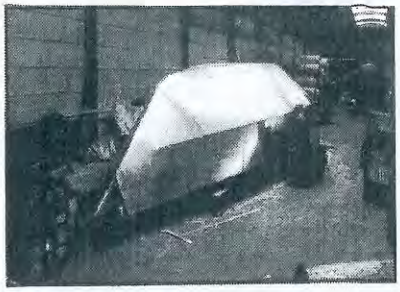
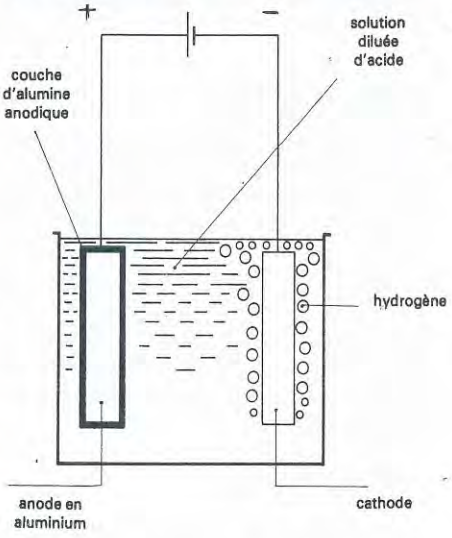


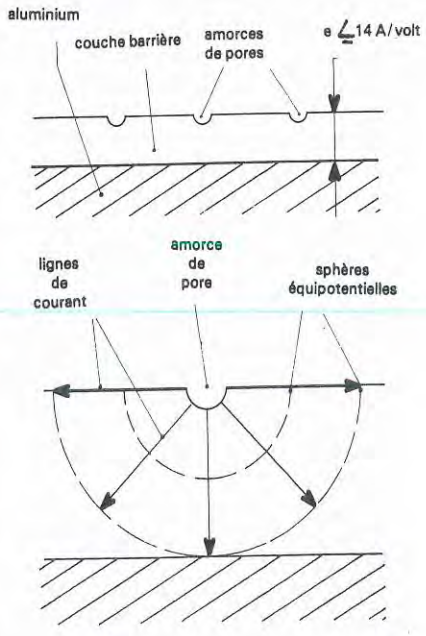
Photo A 69 : *« Une coque d'Ile Disko, dériveur à double bouchain, au chantier Somedy ».*



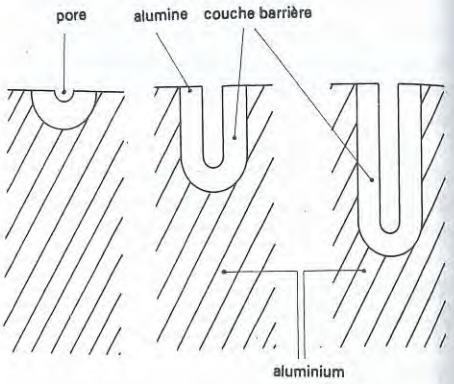
Croquis A 155 : *Principe de l'anodisation de l'aluminium*



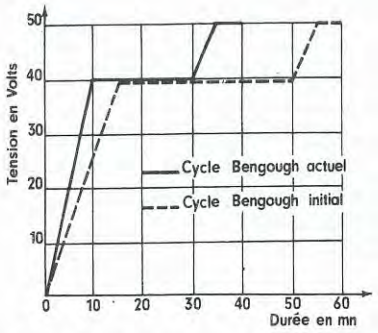
Croquis A 156 : *Formation de la couche anodique*



Croquis A 157 : *Développement du film anodique à partir d'un pore isolé*

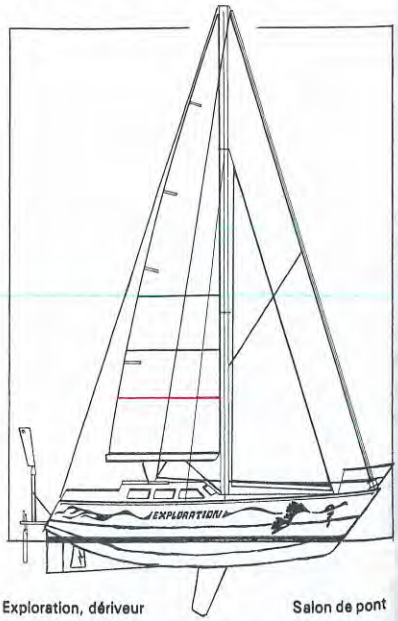


Croquis A 158 : *Anodisation à l'acide chromique*



Mode d'application de la tension dans le procédé Bengough d'anodisation des pièces d'aéronautique ne pouvant risquer des rétentions d'électrolyte.

Croquis A 159 : *Exploration, plan Caroff*



Exploration, dériveur — Salon de pont

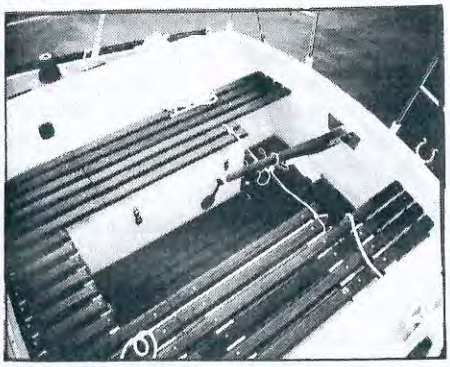
L'aluminium ne souffre ni l'improvisation ni la médiocrité. A court terme, oui. Dans les coups durs, plus du tout, les contraintes de construction se libérant d'autant plus violemment qu'elles ont été grandes et mal détendues. C'est-à-dire d'autant plus violemment que le constructeur artisanal ou amateur, mal informé et ne disposant pas d'un plan réellement étudié pour ce métal ou compatible avec lui, aura enfermé de contraintes par un travail ne respectant pas les lois difficiles et peu connues de ce métal. *(Photos A 68 et A 69, croquis A 159).*

30

UN PONT EN BOIS SUR UNE COQUE EN ALUMINIUM

Voyez le détail de cette construction au chapitre C.20

Photo A 70 : *Cockpit latté bois. Notez l'ouverture du coffre dans la banquette et son dossier pour respecter la hauteur minimum du surbau (400 mm).*



On procèdera, pour l'aluminium, exactement comme je l'ai décrit pour l'acier et l'inox. Le choix d'un pont en bois, à ne pas confondre avec l'habillage d'un pont métallique par un doublage en bois étant le plus souvent affaire d'esthétique et de plaisir de travailler un métau qu'on aime, on peut très bien ponter en bois une coque en alliage léger. Le choix d'un pont en bois ne trouve pas sa justification dans un gain de poids par rapport à un pont en acier. Naturellement pas non plus par rapport à un pont en alliage léger ! Et il ne se justifie pas tellement non plus par le souci de ne pas avoir à entretenir un pont car on sait que le bois nécessite de l'entretien ! Mieux vaut alors un pont d'inox sur une coque en acier.

De même pour un pont de bois sur une coque en aluminium, le choix est esthétique.

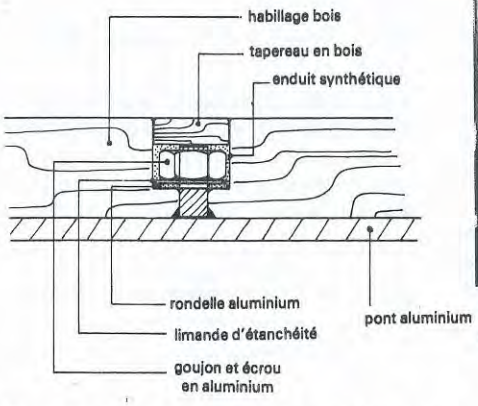
En aluminium aussi on trouve la gouttière pour l'étanchéité et le choix entre le barrotage en aluminium et le barrotage en bois sur des départs de barrots en alliage léger.

Le pont en bois sera posé sur une base de pont en A.G4 MC ou A.G 4,50 MC.

Toutes les indications, sauf la peinture, énoncées pour l'acier sont valables pour l'aluminium.

Une option pour amoureux et spécialiste du bois !

Voyez aussi le chapitre C.21 qui décrit l'habillage de bois d'un pont en aluminium. *(Photo A 70, croquis A 160).*



Croquis A 160 : *Habillage bois boulonné sur un pont en aluminium*

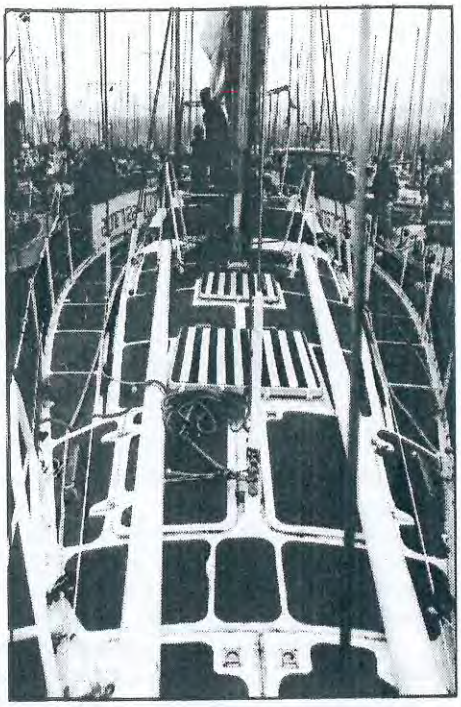


Photo A 71 : *« Plaques de revêtement antidérapant collé ».*

31

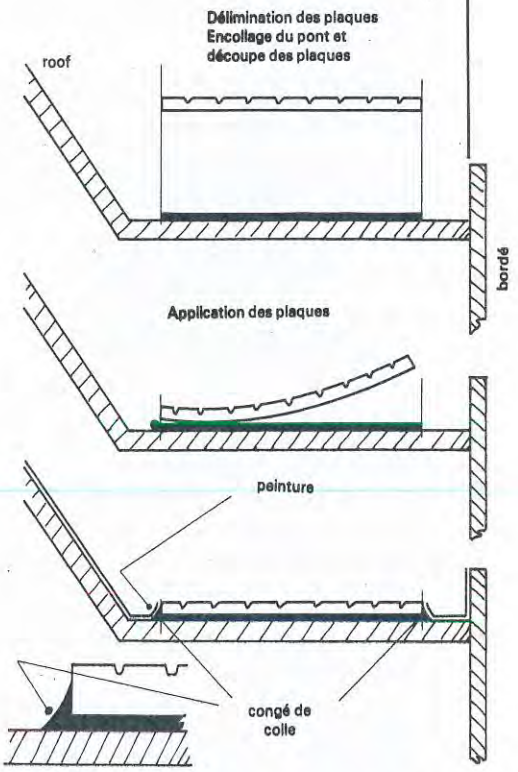
LE COLLAGE D'UN REVETEMENT SUR UN PONT EN ALLIAGE D'ALUMINIUM

Un pont en aluminium pas plus qu'un autre ne peut se passer d'être antidérapant. A la grande différence d'avec l'acier, l'usure du métal ne se traduit pas par des coulées de rouille. Pour autant, le pont doit être habillé pour le confort et entretenu pour la bonne santé du matériau. Pour que le pont soit antidérapant, il n'existe guère que deux solutions recommandables = peindre ou coller un revêtement.

Peindre ne pose pas de problème particulier. Voyez le chapitre sur la peinture des alliages d'aluminium.

Mais coller un revêtement de façon durable et élégante n'est pas si facile ni si connu à en juger par le nombre des échecs !

Une bonne part de ces échecs vient de ce que beaucoup collent le revêtement directement sur le métal. L'alumine formant une fine pellicule, le collage direct a moins de chances de réussir que si on l'exécute sur une base de peinture. Il faut tout d'abord soit sabler, soit dérocher le métal pour lui donner un grain d'accrochage. Il faut dégraisser très soigneusement. Ensuite, il faut passer sur l'aluminium non encore oxydé un primaire d'accrochage puis un système de peintures compatibles entre elles et avec le métal jusqu'à atteindre à l'emplacement des plaques qui seront collées, une épaisseur de 100 microns environ. Les plaques sont dessinées sur le pont en tenant compte de



Croquis A 161 : *Collage d'un revêtement de pont*

l'accastillage. Voyez le chapitre qui concerne le collage du revêtement antidérapant sur un pont en acier. Les plaques ne devront pas être jointives mais les espaces qui les séparent ne devront pas être assez larges pour laisser le pied glisser. Les plaques sont découpées avec une lame recourbée comme on en utilise pour couper les moquettes. De la colle est étalée à la raclette (on dit « une *racle* », en fait) sur une épaisseur variant de 0,3 à 2 voire 3 mm selon conseils du fournisseur pour atteindre l'épaisseur optimale propre à chaque type de colle. Cette colle sera une colle époxy à deux composants sans solvant, semi-rigide. Voyez le chapitre sur les collages des métaux où ces colles sont analysées.

Ce sera la colle Sikadur 31, colle ou les araldites AV 138 M avec les durcisseurs HV 998 et HY 2978, ou AW 134 B et N avec les durcisseurs HY 994, ou HV 997.

Les plaques sont étendues sur la colle de façon qu'elles la touchent en étant déroulées et non appliquées à plat, ce qui y laisserait des bulles d'air. Les plaques sont chargées modérément et uniformément. On les presse du plat de la main, en allant du centre vers les bords. La colle doit déborder tout autour et on ne la racle pour qu'elle ne laisse pas un « *rentré* » par rapport au bord de la plaque, mais au contraire qu'elle y fasse un congé. Une fois la colle sèche, il faut compter 24 heures, il faut peindre deux couches de peinture de finition entre les plaques. On peint les congés de colle au ras des plaques. On possède alors un maximum de chances que les plaques collent aussi bien et aussi longtemps que possible.

En résumé, on retiendra qu'il ne faut pas coller les plaques directement sur le métal, même si on l'a sablé juste avant. On les colle sur une base peinte. *(Photo A 71, croquis A 161).*

32

L'ENTRETIEN DU BATEAU EN ALUMINIUM

On le sait, l'aluminium confère aux bateaux faits en ce métal la qualité, non pas de ne nécessiter aucun entretien, mais d'être faciles à entretenir.

● Le pont devra être lavé le plus souvent possible à grande eau, fusse de l'eau de mer. De temps en temps, il faudra le lessiver et le rincer à l'eau douce. Surtout les recoins, le fond de cockpit, le fond de baille à mouillage, le fond des coffres à radeaux de survie.

● A l'intérieur du bateau, il faudra laver, rincer et sécher les fonds, les recoins de structure, pour éviter les accumulations de salissures qui peu à peu s'humidifient et se chargent de chlorures. Ainsi débutent les points de corrosion par aération différentielle qui se terminent par des chancres perforants. Voyez le chapitre sur les corrosions ; là, c'est une corrosion électrochimique.

● Il faudra, au niveau de la conception et de la construction, veiller à la bonne circulation de l'eau. Eaux usées, condensation, eau de mer apportée par les voiles, les cirés, etc. Pour cela, des anguillers sont ménagés dans les angles de structure. Les eaux sont récupérées dans les fonds et asséchés par pompage. Attention aux pompes électriques !

● Les salissures grasses n'ont pas la même gravité, mais doivent être nettoyées.

● Un type de salissure est sournois. Il s'agit de déchets organiques qui tombent et restent dans des recoins. Morceaux de viande, insectes morts, par exemple. La putréfaction de ces déchets libère des acides capables de percer la couche d'alumine et d'amorcer une corrosion électrolytique, la zone décapée, acide, étant anode. S'il y a humidité et présence de chlorures, bien sûr !

● En résumé, il faudra lutter avec ardeur contre la stagnation d'eau douce ou salée, sachant que l'eau douce ne reste pas longtemps dans un bateau ! Lutter contre l'accumulation de déchets de toutes sortes.

● Du concepteur et du constructeur dépend la facilité ou la difficulté d'entretenir le bateau. Un bateau au pont compliqué, tout en angles, sera difficile à entretenir. Des soudures rugueuses, irrégulières, vont retenir les salissures, que ce soit à l'intérieur ou plus encore à l'extérieur ! Il faut absolument meuler les soudures extérieures. Raison de plus pour être sûr de leur qualité, car c'est en meulant qu'on s'aperçoit parfois qu'un cordon était mité de porosités, crevasses et inclusions.

● Naturellement, il ne faudra pas laisser béants des accrocs dans les peintures. L'humidité s'infiltrerait entre tôle et peinture et décollerait celle-ci. Il faut poncer et décaper les peintures largement autour de la blessure. Puis préparer la tôle en enlevant très soigneusement l'alumine mécaniquement ou chimiquement et enfin repeindre en respectant scrupuleusement l'ordre des couches et les temps de séchage. Les primers d'abord, puis les finitions.

C'est impératif.

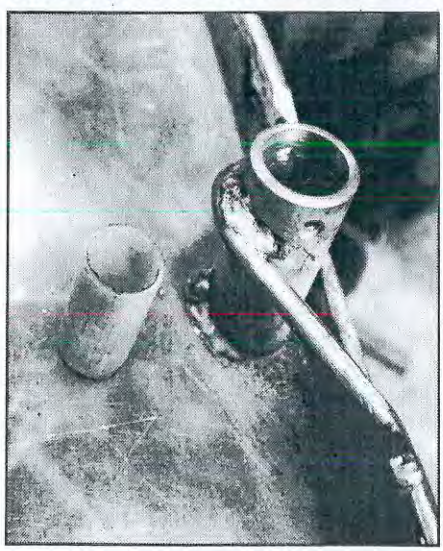
On s'aperçoit là de la justesse de cette affirmation : si on entretient et repeint un bateau métallique, d'acier ou d'aluminium, ce n'est pas pour le métal (à court ou moyen terme) mais pour les peintures elles-mêmes. Trop attendre et c'est le risque de décollement des peintures.

● Un bateau, si on l'aime et si on y tient, quel que soit le matériau dont il est fait, ça s'entretient ! Avec soin ! La recette est toujours la même : « *allez au coin* » ! Aux recoins.

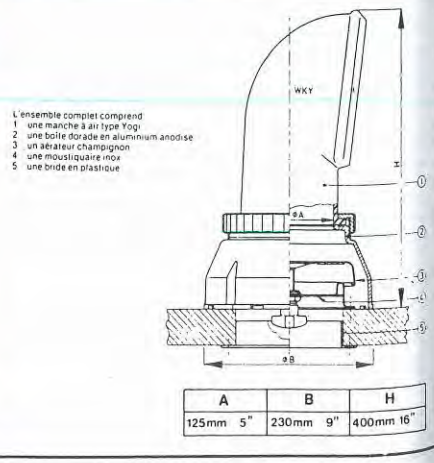
Photo A 72 : *Safran relevable sur un Vulcain.*



Photo A 73 : *Embase pour chandelier en inox.*



Croquis A 162 : *Il est capital de bien aérer un bateau métallique en complément d'une bonne isolation (dessin Elite Marine).*



A	B	H
125mm 5"	230mm 9"	400mm 16"

PEINTURE CLOQUEE

Je réserve quelques lignes particulières au cas du cloquage des peintures.

Lorsqu'une peinture a été mal appliquée, sur des traces grasses sous forme de petites taches ou de points, ou par temps humide, elle peut cloquer.

Des « *bulles* » soulèvent la peinture qui se décolle du métal préparé. Une surprenante corrosion risque de s'y développer si on n'intervient pas très vite.

Les zones saines deviennent cathodes par rapport aux cloques sous lesquelles le métal devient anode en présence d'atmosphère chargée de chlorures.

De plus, les traces grasses ou humides peuvent y attaquer le métal. Il s'agit alors d'un excès d'alcalinité indépendant de l'effet de pile Evans, autre nom de la pile par aération ou oxygénation différentielle.

Peu à peu, les substances qui se seront développées dans l'humidité des cloques vont percer la peinture et révéler la corrosion du métal.

Lorsque les cloques sont peu nombreuses et espacées, il faut mettre à nu le métal, le décaper et le repeindre. Lorsque les cloques couvrent l'ensemble du bateau, il faut mettre à nu la totalité du métal et refaire la protection entière, primers, sous-couches, finitions, dans l'ordre.

Le métal est poncé au papier de verre ainsi que les bords de la peinture saine. Il est dégraissé avec du **Foscral C513** ou **Déoxydine 670** ou **624**, ou **Framanol**, ou **Paroxal 2M** à l'exception de tout autre produit. Puis on peint le primer et le reste du système.

Je conseille de peindre les fonds du bateau en aluminium pour éviter que les salissures humides d'eau chlorée soient en contact avec le métal. Je suis ravi d'être en accord, sur ce point, avec l'I.F.T.A. et tous deux en désaccord avec des constructeurs de bateaux qui ne peignent pas les fonds. Ces zones basses seront nettoyées et surveillées plus que les autres. Notamment, elles seront tenues très sèches. Une peinture conseillée pour les fonds est l'Epoxy-brai. (*Photos A 72, A 73, croquis A 162).*

33

REPARATION D'UNE COQUE EN ALLIAGE D'ALUMINIUM

Grâce à ses caractéristiques mécaniques, l'aluminium absorbe les chocs par des déformations plastiques qui évitent les ruptures et les perforations. Si bien que le plus souvent, réparer une zone de bordé ou de pont consistera à décabosser et non à refermer un trou. C'est heureux, car le soudage de l'aluminium nécessite un outillage délicat et coûteux, qu'on ne trouvera pas dans n'importe quelle contrée éloignée des grands centres industrialisés.

REDRESSAGE

Pour planer une forme cabossée par un choc violent, abordage ou échouage, il faudra parvenir au bordé de coque ou de pont. Aussi les aménagements, le vaigrage, la mousse d'isolation, devront-ils être démontables, donc vissés et montés dans la chronologie inverse de leur démontage. **On termine par le vaigrage de façon que celui-ci puisse être démonté le premier et indépendamment des équipets et meubles voisins.**

Ce métal sera plané avec un marteau de chaudronnier, en inox ou mieux avec un maillet en bois ou en matériau synthétique dur. Il faut savoir qu'une fois déformé (écroui), et restitué dans sa forme, le métal a subi une mutation cristalline et perdu de son élasticité. Il se redéformera beaucoup plus facilement à ce même endroit.

La zone restaurée devra être repeinte si elle l'était avant l'accident. Pour cela, la peinture doit être décapée mécaniquement autour de la zone travaillée. Le métal de toute cette zone doit être dégraissé. Le grain d'accrochage doit être refait soit mécaniquement au papier abrasif non ferreux, soit chimiquement. Le système complet de peinture sera refait à partir du primer jusqu'aux enduits et aux finitions.

Le redressage de la tôle laissera sans doute apparaître de petites irrégularités et il est vraisemblable qu'il faudra enduire au moins cette zone. L'enduit, de type polyester ou époxy, est passé à la raclette ou à la spatule souple après que les primers aient été peints.

RUPTURE D'UNE SOUDURE

Si un choc dépasse la possibilité qu'a le métal d'en absorber l'énergie, il y aura soit rupture d'une soudure, soit rupture d'une tôle.

Si une soudure se rompt à la jonction de tôles de bordé de coque ou de pont et d'un élément de structure, il faudra refaire la structure. Ce sera sans doute une jonction avec une pièce massive, fer de quille ou renfort de quille puisque l'ensemble de la structure n'est pas soudé mais pointé et chenillé (lisses, barrots, membrures...). On peut aussi passer une tôle par-dessus la soudure qui a rompu et la souder sur toute sa périphérie. Ce sera une réparation provisoire mais qui a l'avantage de pouvoir être faite avec une tôle mince et des cordons de soudure « *douteux* ». **Tandis que défoncer la soudure qui a cassé et la refaire ne supportera qu'un bon travail, un soudeur averti et un matériel professionnel** : poste puissant, gaz protecteur et fil d'AG5. Une réparation provisoire peut éventuellement être faite à la baguette voire en oxyacétylénique avec flux en poudre non corrosif. Ce sera mieux que rien pendant quelques semaines, le temps de trouver un atelier capable d'un meilleur travail.

Si la rupture de soudure se fait entre deux tôles, on retrouve les deux mêmes cas de figures qui ne laissent le choix que dans la mesure du possible entre une réparation provisoire avec une tôle soudée en doublante ou refaire la soudure avec un matériel à la hauteur et surtout un fil d'une teneur en magnésium égale ou supérieure à celle des tôles de bordé. Supérieure si possible à cause de la déperdition de magnésium qui peut atteindre 1 % lors du soudage.

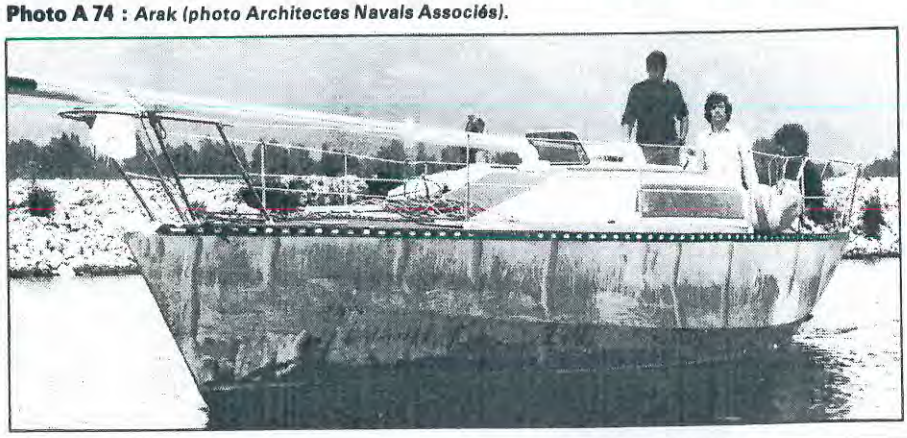
RUPTURE EN PLEINE TÔLE

On retrouve encore ces deux possibilités.

Souder correctement un cordon qui relie les deux lèvres de la tôle éclatée.

Souder une doublante. Voire superposer l'une et l'autre les deux techniques. Ceci pour un bateau loin de ses bases. Il est évident que lorsque le bateau est près d'un endroit où il va pouvoir être réparé définitivement, la technique va souvent consister à découper une surface dans le bordé et à souder une pièce qui la referme. Un gros travail sera nécessaire pour faire disparaître les déformations

Photo A 74 : *Arak (photo Architectes Navals Associés).*



qui ne manquent pas d'accompagner le soudage d'une pièce entièrement bridée. Pire est l'impossibilité de conserver l'homogénéité des caractéristiques mécaniques du métal. La tôle est écrouie par le formage, donc durcie. Par contre, le soudage est recuit, donc l'adoucit. Une pièce soudée en plein milieu d'un bordé aura ces deux transformations cristallines juxtaposées en une faible surface. Ce ne sera pas excellent pour l'avenir.

Réparer provisoirement sera fréquent pour les bateaux qui naviguent loin. On évitera que la déchirure s'allonge en posant deux brides soudées à l'intérieur, alors que la « *doublante* » est à l'extérieur de part et d'autre de l'ouverture.

REPARATION BOULONNEE

A défaut d'une réparation définitive, on peut réaliser une réparation soudée provisoire. Mais cela suppose qu'on peut souder !

Ce n'est pas sûr ! On trouve partout à ressouder de l'acier. On peut réparer le polyester en transportant un peu de chacun des composants nécessaires. On peut réparer le contre-plaqué en emportant de la colle et en prenant un bout des aménagements.

L'aluminium ne se soude pas si facilement. Aussi pourra-t-on réparer une petite déchirure en boulonnant autour de la fente un rectangle pris dans les aménagements. Du contre-plaqué de 10 à 15 suffira en général et se pliera aux formes de la coque qui elle-même se déformera assez pour rejoindre un contre-plaqué plus rigide que le bordé. En interposant entre le bois et la tôle une généreuse épaisseur de joint étanche (Sika, Rubson...), on réalisera une bonne étanchéité en serrant des vis inox espacées de 5 à 10 cm. Ce sera un moyen assez sûr pour rallier en quelques semaines une contrée où une autre réparation sera possible.

Une réparation définitive devra tenir compte de ce qui est dit dans les chapitres sur le soudage. La peinture, les formes de corrosion... Une réparation ne doit pas introduire une source de corrosion. L'alliage apporté doit être analogue à l'alliage de base. Le fil de métal d'apport doit être compatible avec le métal de base et posséder 0,5 à 1 % de magnésium de plus que lui.

A titre de malheureux exemple, je signale les réparations faites peu avant le départ de la première *Route du Rhum*, sur le *Manuréva d'Alain Colas*. Faites, d'après les spécialistes, au soudage oxyacétylénique avec un flux corrosif, des traces de ce flux ont corrodé les soudures, les ont fragilisées et menées à la rupture. Ces soudures concernaient les raccordements des poutrelles de liaison avec les flotteurs et la coque centrale. Ainsi, le bateau se serait disloqué et aurait coulé sans qu'une trace en ait été retrouvée. *(Photo A 74, croquis A 163).*

34

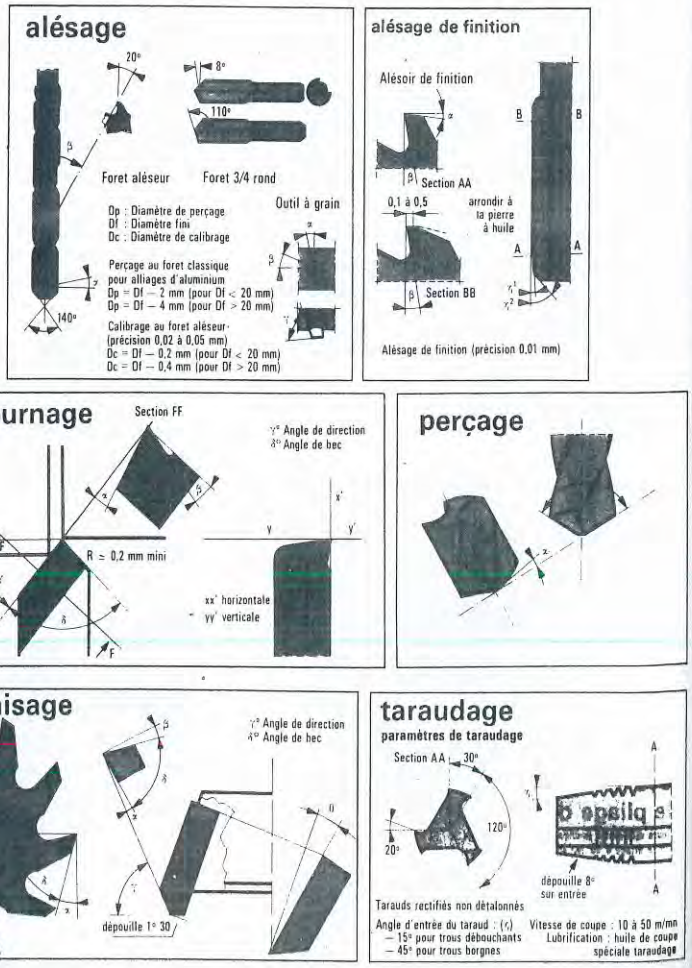
LA CONSTRUCTION INDIVIDUELLE EN ALUMINIUM

La construction individuelle en aluminium est très controversée. Le fait de réussir un bateau tient à des facteurs humains et matériels. Humains parce qu'il faut de la force de caractère et de l'opiniâtreté. Matériels, car il faut des finances et des équipements suffisants. Il faut aussi une information correcte et détaillée.

Mais il dépend aussi du matériau que le bateau soit facile à construire ou pas, non pour tel ou tel individu, car personne ne peut douter qu'il existe toujours quelque part quelqu'un qui sera apte, grâce à des circonstances favorables, à construire un bateau dans un matériau que d'autres jugeront délicat à travailler.

Certains matériaux n'imposent pas de force physique ou de précision, mais nécessitent beaucoup d'heures de travail. D'autres requièrent de la méthode et de l'attention. *(Croquis 164).*

Croquis A 164 : ***Préparation des outils pour le travail de l'aluminium. Dessins SCODAL.***

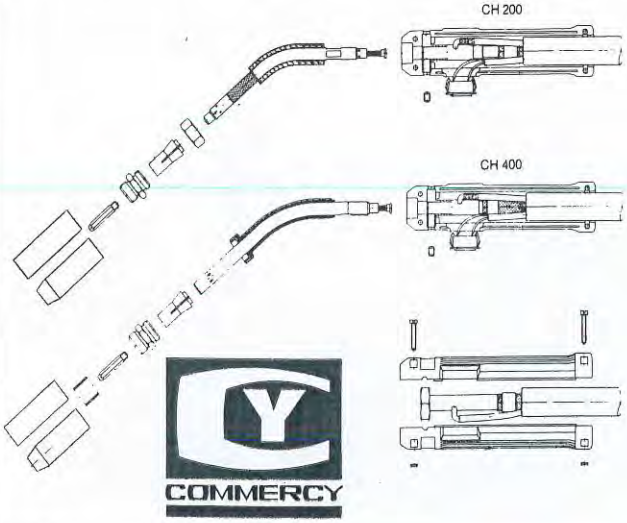


Croquis A 163 : ***Chalumeaux pour soudage en semi-automatique. Dessins COMMERCY.***

Chalumeau CH 200
- gaine monobloc de 3 mètres avec adaptateur central → Réf. code : 40 004 323
- gaine monobloc de 4 mètres avec adaptateur central → Réf. code : 40 004 385
- intensités admissibles : 200 A à 60 % / CO_2 ; 140 A à 60 % / ATAL
- diamètre des fils utilisables : 0,8 à 1 mm

Chalumeau CH 400
- gaine monobloc de 3 mètres avec adaptateur central → Réf. code : 40 004 326
- gaine monobloc de 4 mètres avec adaptateur central → Réf. code : 40 004 322
- intensités admissibles : 400 A à 60 % / CO_2 ; 300 A à 60 % / ATAL
- diamètre des fils utilisables : 0,8 à 1,2 mm

Adaptateur (embase complète)
pour chalumeau CH 200 et 400 → Réf. code : 40 004 327



L'aluminium demande de la précision, de la méthode, une solide information, un matériel tout à fait adapté. Mais il ne nécessite pas beaucoup de force physique, ni un trop grand nombre d'heures de travail.

L'INVENTAIRE DES POSSIBILITÉS :

Plutôt que d'entrer dans la polémique, j'ai préféré regrouper en trois paragraphes les caractères de l'aluminium :

- ce que l'amateur peut réussir sans difficulté,
- ce qui lui sera nettement plus difficile mais pas insurmontable,
- ce qui sans être insurmontable reste aléatoire car à peu près invérifiable.

Ce que beaucoup d'amateurs peuvent réussir

- le bordage d'une coque à bouchains, le bordage de la quille, du gouvernail et du pont, des alliages « *faciles* » à savoir AG4 MC état H 111,
- le découpage des tôles et des profilés à la scie sauteuse ou à la scie à main, ainsi qu'à la scie circulaire,
- la finition des bords pour le soudage,
- la manutention des tôles et des profilés,
- la préparation de la surface à peindre,
- la peinture ou le collage d'un revêtement de pont,
- la vérification de l'étanchéité des soudures par le ressuage,
- une relative vérification de la qualité des soudures sur des échantillons (pliage, frappe...) mais pas sur le bateau lui-même.

Ce qui sera plus difficile mais reste possible

- l'achat d'un matériel plaçant l'amateur dans de bonnes conditions, à cause du coût qui avoisinera 30.000 FF TTC en 1982 pour un outillage de base acheté neuf,
- le coût de la matière première,
- la construction d'un local clos, aéré et tempéré, chauffé l'hiver, ventilé l'été à cause de l'immanquable effet de serre,
- le pointage et le chenillage,
- le soudage continu,
- la parfaite isolation électrique et électrolytique.

Ce qui demeure très aléatoire

- la vérification des réactions du métal aux contraintes de la mise en formes et du soudage dans sa constitution cristalline,
- la réelle vérification de la solidité des soudures,
- la détente du métal afin d'éliminer les contraintes d'écrouissage et de recuit alternés,
- la vérification de l'absence d'inclusions dans les soudures.

LE RISQUE :

Un certain nombre de difficultés ne sont pas dues à l'aluminium. Ainsi, la construction en tôles galbées (semi-formes), et la construction en formes ne sont pas non plus possibles pour le plus grand nombre en acier. Certains amateurs y parviennent... mais sont-ils vraiment des amateurs et peut-on les donner en grand exemple, sans entraîner le vrai amateur dans des risques et des difficultés au-delà de ses vraies possibilités.

Comme le sportif amateur face au sportif semi - professionnel qui peut s'entraîner beaucoup plus et de ce fait, atteint de meilleures performances ! Est-ce sans risques cardiaques que le sportif amateur tenterait de rivaliser avec le semi -professionnel ?

Il y a aussi des risques pour le vrai amateur à rivaliser avec le « *semi - professionnel* », le risque d'un profond échec moral et financier.

Tout le problème est là !

Peut-on conseiller à tous et chacun d'essayer ? Oui, d'essayer, parce qu'on sait que quelques-uns ont réussi. Mais d'essayer, car on ne sait pas si tous peuvent réussir ! Dans chaque matériau qui, par ses exigences, est la cause de l'échec. Ce peut être une cause économique, un manque de persévérance, ou une cause fortuite (intérêt pour une autre activité découverte entre temps...).

Le mouvement d'intérêt pour la construction en aluminium étant récent et plus encore le mouvement de construction amateur en alliage léger, il faut sérieusement réfléchir pour savoir si les échecs connus et les succès connus mettent en cause ou pas un tel usage de ce matériau.

PARTICULARITÉS DE LA CONSTRUCTION AMATEUR :

Si dix personnes achètent chacune un bateau à deux constructeurs professionnels, chaque chantier construit cinq bateaux. Son expérience progresse vite et au départ il n'y a que deux sources d'erreurs possibles.

Si dix amateurs se construisent chacun un bateau, aucun des dix n'aura assez progressé entre le début et la fin de son travail, pour éviter qu'ensuite d'autres amateurs commettent des erreurs en profitant de son expérience. Certes, l'architecte regroupant l'expérience de plusieurs pourra guider les suivants. Mais, il ne pourra pas construire à leur place, ni leur apporter le tour de main.

Le problème est celui-là. On sait qu'il y a des écueils dans la construction en acier, mais qui ne sont pas non plus absents de la construction en acier inoxydable. On sait ce qu'il faut faire pour éviter ces écueils tenant, soit à la nature cristalline de ce métal-là, soit à son soudage. Pourtant, même les constructeurs professionnels n'échappent pas tous à ces erreurs et chaque bateau d'un constructeur conscient de ces écueils à éviter ne peut, a priori, pas être considéré comme n'ayant pas, de façon certaine, en son sein, le germe d'un futur incident grave ou pas.

Si cela est vrai pour les quelques chantiers artisanaux de notre hexagone, cela est encore plus évident si on multiplie le nombre de constructeurs par autant d'amateurs que de bateaux.

En multipliant le nombre des amateurs, on multiplie par autant le nombre des risques. C'est une certitude.

Une particularité du constructeur amateur m'alarme aussi. S'il fait lui-même son bateau, c'est aussi ou surtout, parce qu'il lui manque le budget nécessaire à l'achat d'une unité plus avancée en élaboration. Cette « *faiblesse* » matérielle le poussera aussi à ne pas peindre le bateau en aluminium. Or, par son manque d'expérience, c'est lui qui risque le plus d'avoir laissé des inclusions plus ou moins superficielles dans les soudures et aura, peut-être, un surfaçage de bordé, loin de la perfection. Deux raisons pour que des corrosions naissent en ces endroits. L'une dans les cordons, par suite de différence de potentiel entre l'inclusion et le métal d'apport ou le métal de base. L'autre par défaut dans le film d'alumine protecteur.

LES ECUEILS ET L'AMATEUR :

On le sait, les écueils de la construction amateur ne tiennent pas à la découpe, ni à la mise en place des tôles et des profilés, ni à la détermination des bouchains. Ils tiennent aux violences qu'on fait subir aux tôles pour les faire venir à la forme voulue. Ils tiennent aux contraintes de cet écrouissage. Ils tiennent au soudage en ce qu'il est solide, étanche, homogène, adhérant au métal de base. Au soudage, en ce qu'il déforme les profilés et les tôles, modifie leur structure cristalline. Ils tiennent surtout, à la juxtaposition de ces deux types de contraintes qui se contrarient, mais pas au même endroit, dans des endroits voisins.

L'amateur peut-il :

- souder sans contraindre le métal ?
- former le métal sans l'écrouir plus que ne le ferait le professionnel qui a appris à « *faire venir* » une tôle, non pas malgré elle, mais naturellement ?
- détendre le métal pour supprimer ces deux types de contraintes ?

Non. En tout cas pas tous.

Deux mots de l'acier.

L'acier, aussi, subit des contraintes de durcissement (écrouissage) dues au formage et ramollissement (recuit) dues au soudage. Mais, l'élasticité de l'acier, la finesse des tôles, permettent de le faire venir plus facilement à des formes non naturelles. Et l'acier est bien moins conducteur du choc thermique du soudage. Par la suite, le bateau ne court à peu près aucun risque, que le choc d'une vague, par exemple, libère ces contraintes et fasse éclater les soudures ou déchire les tôles. L'acier, pour être un métal aussi est très différent de l'aluminium et infiniment moins exigeant ! C'est pour cela que l'amateur peut l'employer. Même s'il est tombé dans les pièges grossiers de l'acier (soudage mal exécuté, chauffe excessive et pointage trop écarté), le seul risque encouru est un bateau aux bordés gondolés et aux brisures incertaines. Mais, il n'y a presque aucun risque de fragilité de soudure ! Cela tient à la nature très homogène du bain de soudage. Le bain de l'aluminium n'est bien homogène qu'en soudage TIG, procédé trop onéreux pour l'amateur et trop difficile à mettre en œuvre pour des épaisseurs de tôles rencontrées dans les bateaux.

Voilà pourquoi, dans ce Hors Série rédigé, fin 1982, je ne peux pas dire qu'il est souhaitable d'encourager les amateurs vrais, à entreprendre la construction d'un bateau en alliage d'aluminium. Ceux qui voudront s'y essayer, le pourront et, je pense que ce texte les aura fait réfléchir si bien que c'est en toute connaissance de cause qu'ils le feront.

EN RESUMÉ :

Relisez les trois paragraphes des difficultés surpassables facilement, difficilement et de ce qui reste aléatoire. Vous y découvrirez, qu'hélas, ce que l'amateur peut contrôler et réussir, est ce qui ne tient pas à la nature de l'aluminium. Soudures étanches, découpage et traçage... **Et aussi, hélas, que ce qu'il ne pourra pas contrôler et ne peut réussir aussi bien que le professionnel, tient à la nature de l'aluminium** : sensibilité à l'écrouissage et au recuit.

W. Huisman dit que ces transformations cristallines abaissent de 15 % les caractéristiques du métal. Et accroître de 15 % l'épaisseur du métal, c'est-à-dire aussi son poids et son coût ne supprime pas le risque de la rupture par fatigue mécanique, s'ajoutant à celui de la rupture par libération brusque des contraintes. Deux risques peu liés, relativement à l'épaisseur mais dépendant du travail de chaudronnage et de soudage, les deux points faibles de tout amateur.

Je suis obligé de conclure aujourd'hui que la nature même de l'aluminium est porteuse de deux types de difficultés incontrôlables pour l'amateur ; qui oserait embarquer sa famille sur un bateau ainsi incontrôlable ?

Je pense que l'avenir de la construction amateur en aluminium passe par la réalisation de coques pontées, économiques et saines ; la finition et l'équipement étant solidement encadrés par un dossier de plans et des conseils éclairés et détaillés.

Regardez l'exemple de la construction amateur en ferro-ciment. Ce matériau économique paraissait facile à mettre en œuvre pour l'amateur. Le nombre des échecs a été tel, que ne subsiste presque que la production de coques pontées. Là aussi, des écueils pouvaient être évités par le professionnel qui apprend et acquiert de l'expérience par la répétitivité de son labeur, alors que l'amateur ne peut bénéficier de cette expérience qui s'enrichit d'elle-même.

Je pense que c'est aussi le cas de l'aluminium. L'équivoque étant entretenue par l'apparente similitude avec l'acier, un métal aussi. Pourtant, la différence est immense et celui qui saura lire cet ouvrage avec méthode et patience le découvrira !

J'ajoute que le Centre technique de l'aluminium partage cette opinion au point de même regretter la prolifération des petits chantiers artisanaux mixtes « *acier-alu* » ! Le Centre technique de l'aluminium songeait à l'époque où cet ouvrage était en cours de rédaction, à créer un label de qualité dans le but de limiter le nombre des constructeurs (professionnels !), et donc le nombre des sources de possibles erreurs. Chez Ugine, pour le lancement de l'inox, dans la construction navale, les ingénieurs sont si conscients des risques d'une trop rapide mise sur le marché de techniques mal assimilées, qu'ils freinent cet autre métal, qui bien qu'étant un acier, se comporte lui aussi de façon particulière. Le malheur des uns fait le bonheur des autres ?

L'I.F.T.A. ET LES CONSTRUCTEURS AMATEURS

L'I.F.T.A. (Institut français des technologies de l'aluminium) s'est tenu au courant du développement de la construction en alliages d'aluminium, d'abord par quelques chantiers spécialisés, ensuite par des petits artisans, maintenant depuis l'année 1982, par quelques amateurs.

Son opinion est intéressante à connaître.

A la question **« que pensez-vous de la construction en aluminium par des amateurs ? »**, la réponse fut que c'était possible, le matériau étant facile à mettre en œuvre et à manipuler, sauf éventuellement le bordage et, certainement, le soudage, qui eux, posent des problèmes de contraintes de bonne réalisation. « *Si c'est bien fait, c'est possible* ». A la question **« pensez-vous que ce sera bien fait ? »**, la réponse fut non ! La réponse négative fut ensuite nuancée et détaillée.

Non, car on peut hélas douter que tous les amateurs qui souhaitent travailler l'aluminium se placent dans les meilleures conditions pour réussir leur travail. Mais, à l'I.F.T.A., on ajoute que pire encore est la situation de certains petits constructeurs, voire de certains plus grands. On m'explique que l'amateur prend son temps, alors que certains ouvriers ne connaissent pas tellement mieux le soudage de l'aluminium et, de plus, sont pressés par le temps et le besoin de rentabilité.

Ce qui est vrai. J'ai souvent « bagarré » pour faire admettre ici et là que l'amateur aura toujours l'avantage sur l'artisan de ne pas compter son temps.

Mais à l'I.F.T.A., on prend le taureau par les cornes. Les amateurs qui désirent construire en aluminium sont invités à poser leurs questions par téléphone, ou en prenant rendez-vous, aux ingénieurs de l'Institut : des conseils leur seront donnés gratuitement sur la mise en œuvre et le soudage, ainsi que d'autres aspects qu'ils soumettraient. Des stages de soudure sont organisés à plusieurs périodes de l'année. Ces stages sont payants. En 1982-83, leur montant tourne autour de 5.000 FF. Ces stages sont jugés nécessaires par les ingénieurs de l'I.F.T.A., et c'est bien là qu'est le danger. Tous les amateurs s'y plieront-ils ? Si oui, on peut être optimiste quant à la réussite d'un bateau en aluminium par l'amateur.

Si non, on peut craindre par la méconnaissance du danger que des déboires doivent être ressentis dans les années qui viennent.

Les ingénieurs, d'ailleurs, très agréables et dévoués de l'I.F.T.A., m'ont cité maints échecs :

- Deux bateaux présentant un très grand nombre de porosités traversantes. L'un d'eux mis à l'eau embarquait 800 litres par 24 heures ! Défaut de soudure.
- Manureva, le célèbre trimaran d'Alain Colas, probablement coulé à la suite de la rupture de soudures de réparations mal faites dans les poutrelles de liaison entre la coque principale et les flotteurs. Soudage oxyacétylénique avec flux corrosif. Puis corrosion de la soudure et rupture.
- Ubu, l'Ovni 35, coulés par deux fentes dans le fond, à l'arrière du bateau. **Probablement rupture fragile par fatigue du métal entraîné à des déformations alternées** : flexions vers le haut puis le bas, équivalant à des tractions et compressions alternées des faces du métal. Ajouté à cela une possibilité de corrosion électrolytique, c'était la rupture brutale en coup de canon d'un côté et aussitôt de l'autre, par déséquilibre de la structure.

Et d'autres exemples faisant suite à un évident manque d'information, mais ne mettant pas en cause la valeur du matériau lui-même.

CONCLUSION

Il faut rester circonspect face à ce récent mouvement d'intérêt des constructeurs amateurs pour l'aluminium.

Circonspect, mais pas inactif. Il faut se renseigner le plus possible afin d'éviter les erreurs. C'est la démarche dynamique et positive, entamée par l'I.F.T.A. et par Loisirs Nautiques dans ce Hors Série.

Je conseille vivement aux amateurs et aux artisans de s'informer auprès de l'I.F.T.A., sur les caractéristiques des alliages d'aluminium, leur mise en œuvre, l'écrouissage dû au bordage, le recuit dû au soudage ; d'effectuer des stages de soudure ; de prendre rendez-vous pour recevoir des conseils.

L'I.F.T.A., moyennant un devis d'honoraires, peut contrôler et surveiller les constructions. Un appui efficace pour réussir son bateau.

C'est à ce prix-là que ce type de construction plein d'embûches est possible, sans trop de risques.

L'OUTILLAGE DE TRAVAIL DES ALLIAGES D'ALUMINIUM

L'outillage de travail de l'aluminium ne doit pas être confondu avec celui de l'acier, ni lui être mélangé. On ne doit pas travailler l'aluminium avec un outillage en acier doux portant des traces de rouille. Ou alors on interpose des feuilles minces d'aluminium, du papier ou un film plastique en gomme à étendre en rouleau. On ne doit jamais rayer l'alu ni tracer avec une pointe dure sur une tôle d'alu servant à la construction d'un prochain bateau. Beaucoup de ces précautions sont valables aussi pour l'acier inoxydable qui ne doit pas non plus être rayé ni « *marqué* » par des outils souillés, rouillés ou « *blessants* ».

— OUTILS DE TRAÇAGE :

Pour ne pas rayer la surface du métal, il faudra des outils laissant une trace sur l'aluminium et non dans son épaisseur.

- crayons à mine de graphite,
- feutres fins à encre indélébile de couleur pour différencier les tracés,
- règles graduées de 1 à 3 mètres,
- décamètre ruban,
- l'équerre et fausse équerre de 600 x 1000,
- compas à porte-crayon d'une ouverture supérieure à 50 cm,
- lattes souples en L d'aluminium de 20 x 25 d'une longueur de 3 à 6 mètres,
- une dizaine de charges en plomb ou acier d'environ 10 kg chaque,
- une ou deux règles parfaitement droites et rigides en tube rectangulaire d'aluminium de 15 x 100 x 2500 à 6.000.

— SOUDAGE :

Poste à souder MIG passant 350 ampères avec câblage et dévidoir de fil poussé, ou poussé et tiré, ou pulsé, en gaine armée auto-lubrifiante (ne jamais graisser !).

Bouteilles d'argon ou mixte, bouteilles d'argon et bouteilles d'hélium et manomètre de débit. **On trouve de tels postes sous les marques habituelles :** Commercy, Saf, Sarrazin, Esab...

Un chantier plus important possèdera aussi un coffret TIG pour les soudures sur tôles de faible épaisseur ou passe de fond avant soudage MIG de tôle plus épaisse.

- Travail en « *maintenu* » ou « *impulsion* ».

Ces appareils permettent un travail :

- en maintenu, pour la réalisation de cordons de faibles longueurs ou le pointage ;
- en impulsion, pour la réalisation de cordons de grandes longueurs. Le travail est alors séquentiel : le gaz apparaît un très court temps avant le début de la fusion : il est maintenu après soudage pour assurer la protection du bain.

Le travail de l'aluminium et l'outillage a été exposé dans le chapitre concernant sa mise en œuvre.

Outre les précautions de manipulation, les vitesses de coupe et de rotation, les angles d'affûtage indiqués au chapitre sur le chaudronnage, voici une liste d'outillage :

- disqueuse recevant des disques à tronçonner ou à meule (sans composants ferreux), des brosses rotatives voire des lames de scies circulaires,
- scie sauteuse pour aluminium,
- scie à main pour aluminium,
- perceuses pouvant être équipées de forets, meule, disques, brosses rotatives,
- ponceuse vibrante pour préparer l'aluminium à être peint,
- tronçonneuse sur bâti,
- grignoteuse à main ou sur bâti avec mâchoires pour aluminium,
- cintreuse,
- rouleuses à cylindres ou (et) à olives,
- presse plieuse en largeur de 2,3 ou 4 mètres,
- guillotine en 2,3 ou 4 mètres de large,
- tour,
- étau, pinces étaux, serre-joints et tous les outils à main classiques, maillets, râpes ou rabots Stanley à lame inoxydable, etc,
- meuleuse ou touret d'angle.

Ne pas oublier que pour souder sous argon en étant sûr que l'argon protège bien le bain et n'est pas chassé par des courants d'air, il ne faut jamais souder l'aluminium en plein air, jamais.

L'artisan aura sans doute un local clos, l'amateur devra lui aussi s'en pourvoir. Il peut monter un hangar en poutres d'acier ou de bois habillé de polyane armé ou acheter des éléments de serre en polyane sur arceaux en tubes de plastique ou d'acier. Une telle serre mesurant 8 mètres de large pour 3 mètres de haut ou 6,50 mètres de large pour 3 à 4 mètres de haut, possèdera des tubes d'acier de 50 x 2 mm, espacés de 2 mètres environ.

De quelque façon qu'il soit fait, l'abri est nécessaire.

GENERATEURS ELECTRONIQUES A REGLAGE CONTINU POUR SOUDAGE MIG

L'amateur peut aussi espérer revendre son poste qui, ainsi, ne lui aura guère coûté que 5.000 à 6.000 F (en 1982-83). Ajoutons-y 5.000 à 6.000 F pour un stage de soudure auprès de l'I.F.T.A. Voyez le chapitre sur les constructions amateur, individuelle, en aluminium.

Je conseille à l'amateur un poste pour soudage MIG « *passant* » de l'ordre de 400 ampères à 50 %, alimenté en 220 ou 380 volts, par exemple Saf 355, etc.

	CY 380
Alimentation triphasée 50 Hz	220 V/380 V
Consommation primaire maxi....	44 A/26 A
Intensités de soudage	30 A/15 V à 400 A/34 V
Gamme des tensions à vide.....	12 à 40 V
Gamme des tensions à charge	15 à 34 V
Coefficient d'utilisation	100 % à 350 A 80 % à 400 A
Dimensions hors tout en mm	1255 x 565 x 1015
Poids approximatif en kg.....	290 kg

	CY 580
Alimentation triphasée 50 Hz	220 V/380 V
Consommation primaire maxi....	84 A/48 A
Intensités de soudage	50 A/15 V à 580 A/43 V
Gamme des tensions à vide.....	16 à 51 V
Gamme des tensions à charge	15 à 43 V
Coefficient d'utilisation	100 % à 500 A 75 % à 580 A
Dimensions hors tout en mm	1382 x 565 x 1015
Poids approximatif en kg.....	370

L'équipement de dévidage poussé-tiré « PP/DV » pour soudage semi-automatique garantit une alimentation continue en fil d'apport, une parfaite régularité et une grande douceur de fonctionnement.

Le système poussé-tiré convient particulièrement pour le dévidage des fils d'apport fins ou mous, tels les fils d'alliages légers.

B

LES ACIERS INOXYDABLES

« Honte à ce qui subsiste d'être altéré »
Michel BUTEL

Ce chapitre ne doit pas être considéré comme une simple partie de l'étude sur les aciers. Il s'agit d'un exposé plus bref mais détaillé qui concerne un matériau jeune et passionnant qui se développe dans de nombreux domaines, parmi lesquels la construction navale : l'acier inoxydable.

L'acier doux est un composé de fer et carbone. C'est un métal d'utilisation très répandue dans toutes les industries. Son altération à l'air oblige souvent à de coûteuses opérations d'entretien et de mise en peinture. Un atout des aciers inoxydables est d'écarter cette obligation de peinture. De l'écarter tout à fait pour les aciers inoxydables les plus « *riches* ». De retarder l'obligation de repeindre une zone abîmée pour les nuances les moins « *chargées* ».

En France, les aciers inoxydables sont élaborés en grande partie par la Société Ugine-Aciers ; transformés ensuite en produits plats tels que tôles en bandes par les Forges de Gueugnon et commercialisés par Ugine-Gueugnon.

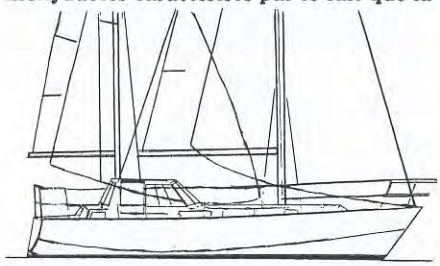
Conscient de la nécessité d'informer les utilisateurs, ce groupe industriel dispose d'une importante documentation sur les propriétés et les conditions de mise en œuvre de ce nouveau matériau sur le marché. Ugine a pris conscience des risques qu'un trop rapide développement précédant une réelle information pouvait faire courir à tout produit, fut-il excellent ! Aussi le développement de l'utilisation de l'acier inoxydable dans la construction des coques et de ponts se fait-il sans urgence, avec méthode et circonspection. Des exemples d'échecs dans d'autres matériaux ont rendu prudents les ingénieurs d'Ugine.

1

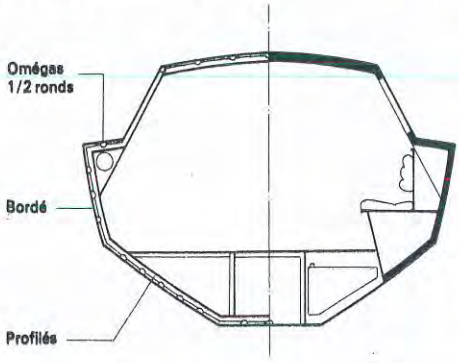
QU'EST-CE QUE L'ACIER INOXYDABLE ?

En construction navale, nous sommes tous plus ou moins habitués à parler d'alliages quand il s'agit de métaux à base d'aluminium. De même, les métaux ferreux qu'on utilise dans ce domaine sont en général des aciers « *alliés* ».

Il existe plusieurs variétés d'aciers inoxydables caractérisés par le fait que la combinaison fer-carbone est associée à d'autres éléments ajoutés lors de l'élaboration.



Croquis B 1 : *Gemini 39*



Croquis B 2 : *Coupe du Trisinox 43 en 316 L*

La création des aciers inoxydables remonte au début de ce siècle. En Angleterre, pour fabriquer des canons de fusils, on élabora un acier chargé de 13 % de chrome. Cet alliage se révéla parfait sur le plan de la résistance à la corrosion, mais... impossible à « *brunir* ». Et un canon de fusil qui vous éblouit les yeux quand vous visez... ce n'est pas très pratique ! L'acier ainsi mis au point connut ensuite un développement sous forme de lames forgées pour la coutellerie.

Puis on réalisa des produits plats, bandes en tôles, en acier à bas carbone avec 17 % de chrome.

Le groupe Ugine fabrique en France des tôles d'acier inoxydables depuis 1920, pour l'industrie chimique.

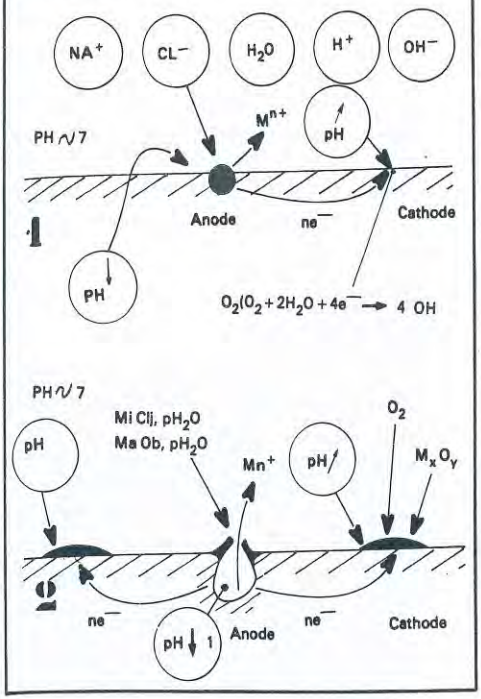
Ces tôles connurent depuis des débouchés de plus en plus divers : automobile, transport, décoration, appareils ménagers et culinaires, etc.

Le premier bateau en acier inoxydable a été mis en chantier en 1960 pour *Marcel Bardiaux* : « Inox » est un ketch de 12 m.

Depuis cette date, beaucoup d'autres unités ont été réalisées avec succès et la construction en série a vu le jour au chantier Brument avec les Vulcain V en inox.

Pour la construction navale ainsi que d'autres utilisations, s'est imposée l'utilisation d'aciers inoxydables comprenant en plus du chrome (17 à 18 %), d'autres éléments tels que le nickel et le molybdène. Les raisons principales sont de faciliter la mise en œuvre, la conformation, le soudage, et d'obtenir une résistance supérieure à la corrosion de certains milieux spécialement agressifs, tels que l'eau de mer.

Croquis B 3 :



Nous abordons l'étude des aciers inoxydables par la liste des nuances qui conviennent à la construction navale. Ces nuances sont regroupées dans les tableaux suivants.

2

DESIGNATIONS DES ACIERS INOXYDABLES APTES A LA CONSTRUCTION NAVALE

UGINOX	AFNOR	AISI	REMARQUE
F 12 T	Z 6 CT 12	409	Stabilisé au titane, donc soudable, pour ponts
F 17 T	Z 8 CT 17	—	Idem, pour ponts
NS 21 A	Z 5 CN 18.10	304	Pour ponts, ne pas peindre. Ne pas utiliser sous la flottaison
NS 22 S	Z 2 CN 18.10	304 L	Pour les ponts
NSM 21 S	Z2 CND 17.12	316 L	Excellent pour ponts, coques et réservoirs
NSM 22 S	Z2 CND 17.13	316 L	Idem
NSMC	Z6 CDNT 17.12	316 TI	Excellent, au titane, réfractaire

COMPOSITION DES INOX APTES A LA CONSTRUCTION NAVALE ET CARACTERISTIQUES MECANIQUES

ACIERS FERRITIQUES AU CHROME

Uginox	C	Cr	Ni	Mo	Ti	R	R.0002	A	Définition	AISI
F12T	⩽ 0,5	11			0,5	380.580	195	20	Stabilisé au titane	409
F 17 : non soudable car non stabilisé au titane										
F17T	⩽ 0,04	16,5			⩾ 7	420.570	240	22	Extra-doux à 17 % de chrome stabilisé au titane	

ACIERS AUSTENITIQUES

Uginox	C	Cr	Ni	Mo	Ti	R N/mm²	R 0.002 N/mm²	A %	Définition	AISI
NS 21 A	⩽ 0,07	17,5	8,8			580-730	215.235	40	18.10 à bas carbone	304
NS 22 S	⩽ 0,03	18	9,3			540.690	205.195	40	18.10 à très bas carbone	304 L
NS M 21 S	⩽ 0,03	17	11,5	⩾ 2		520.670	215.235	40	18.12 à très bas carbone	316 L
NSMC	⩽ 0,08	17	11,5	⩾ 2	⩾ 5	560.710	235.245	35	18.12 Mo stabilisé au titane	
NS M 22 S	⩽ 0,03	17,5	12	⩾ 2,5		530.680	215.235	40	18.12 Mo à très bas carbone	316 L
Réfractaire pour utilisation à chaud										
NSMC	⩽ 0,08	17	11,5	⩾ 2	⩾ 5	560.710	235.245	35	Température maxi d'emploi = 900°	

silicum < 1.

Les essais sont les mêmes que ceux effectués pour déterminer les caractéristiques mécaniques des aciers ordinaires.

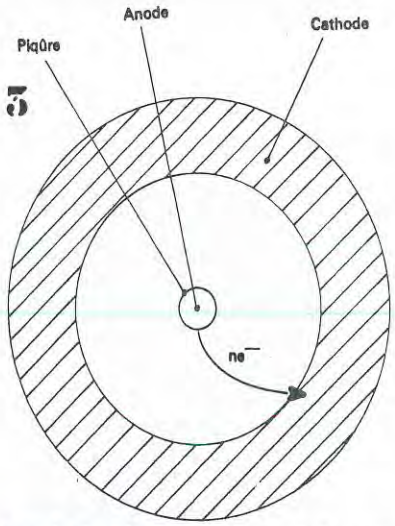
On distingue trois familles d'aciers inoxydables, selon leur mode de fabrication ainsi que selon les additifs dont ils sont composés.

- Aciers ferritiques.
- Aciers austénitiques au chrome et nick.
- Aciers austénitiques au chrome, nickel et molybdène.

ACIERS INOXYDABLES A BAS NICKEL

Il faut aussi noter les recherches actuelles sur des aciers inoxydables ferritiques à basse teneur en nickel pour remplacer partiellement des aciers austénitiques chargés en nickel.

Le coût du nickel est la cause de ces recherches dont seul l'avenir dira si elles aboutissent à des résultats exploitables en construction navale. (Photos B 2 et B 3, croquis B 1 et B 2).



Croquis B 3 bis : *Corrosion par piqûre en eau de mer.*
1 — Début de la réaction
2 — Propagation de la réaction
3 — Visualisation de la piqûre et de l'auréole de la cathode.

3

LA CORROSION

Avant d'aborder la mise en œuvre des aciers inoxydables, il nous a paru indispensable d'envisager les phénomènes de corrosion. Nous devrions dire de « *corrosions* » car, vous allez le voir, il en existe plusieurs formes.

Cette étude commence par un encadré technique sur la corrosion, suivi par l'exposition des différentes corrosions que l'on peut rencontrer en construction navale et même plus généralement.

Voici tout d'abord l'encadré technique :

● Voici maintenant l'étude des différents types de corrosions.

TYPES DE CORROSIONS

Corrosion uniforme :

L'aluminium comme l'acier inoxydable se passivent. C'est donc à l'état actif que commence une corrosion uniforme, qui peut se prolonger parallèlement à la réaction de passivation. L'attaque de surface est alors régulière. Elle est peu virulente.

Corrosion intergranulaire :

Elle affecte les aciers inoxydables austénitiques. C'est une corrosion qui chemine le long des joints de grains. A l'extrême, c'est une désagrégation. Mais il faut que trois conditions soient simultanément réunies pour que cette corrosion se développe = une température entre 500 et 800° atteinte lors d'un soudage par exemple ; que l'on soit en présence d'un acier inoxydable non stabilisé ou qui ne soit pas à bas carbone ; qu'il y ait une présence d'acides ou de traces acides.

Un acier n'est plus à bas carbone lorsqu'il comporte plus de 0,03 % de carbone. Des éléments stabilisateurs annulent cet effet.

Corrosion par piqûres :

Elle est provoquée par les chlorures. Des piqûres peuvent apparaître et continuer jusqu'à la perforation du métal. C'est donc une corrosion qui peut se rencontrer sur les bateaux, à cause de la présence d'eau de mer. Elle n'a lieu que lorsqu'il y a eu une erreur dans le choix de la nuance ou un mauvais traitement dans la mise en œuvre du métal. Elle n'est pas un phénomène inévitable qui résulterait de la simple mise en eau de mer de tout bateau en acier inoxydable. Heureusement, car sinon, il suffirait de clore immédiatement ce dossier !

Corrosion caverneuse

Dans les recoins dus à une mauvaise conception d'une structure sans possibilités de circulation de l'eau qui peut se trouver dans les fonds, il peut se produire des stagnations de petites quantités d'eau de mer, ou seulement des impuretés humides. Ce type de corrosion ronge le métal et y creuse des cavernes.

Corrosion galvanique

Elle est due à la mise en contact d'un autre métal. Mais, comme l'acier, l'inox est électropositif par rapport à la plupart des métaux usuels.

L'inox et l'acier peuvent attaquer l'aluminium. Pour qu'une attaque ait lieu, il faut un contact et une présence d'eau de mer prolongée.

Corrosion sous tension

Lors de la mise en formes (pliage, emboutissage) d'inox austénitique lors de sa mise en tension sous charge, ou d'après l'un ou l'autre, lorsque le métal a été bridé, de fines fissures en toile d'araignée peuvent apparaître dans le métal, visibles en surface. Il s'agit d'une corrosion dite sous tension qui nécessite pour se développer trois facteurs simultanés. Il faut que l'on se trouve en présence d'eau de mer, sous une température supérieure à 90° et avec une tension effective ou résiduelle.

Il ne faut pas confondre cette corrosion sous tension, en fait rarissime sur des bateaux, du fait de la nécessité de présence d'eau de mer et de température supérieure à 90°, avec la corrosion qui se développe lorsqu'un alliage d'aluminium est mis en tension au contact de l'eau de

Résistance à la corrosion

A l'exception de l'or et du platine qui existent à l'état naturel, les métaux sont extraits de minerais et s'altèrent en présence de l'oxygène de l'air et des autres agents corrosifs. Ils tendent à retourner progressivement à un état combiné.

Ce processus est appelé corrosion. C'est un phénomène électrochimique.

Un métal se corrodant dans une solution agressive subit deux types de réactions électrochimiques :

● **Oxydation**

(métal) $M \rightarrow Mn^+ + ne^-$ (1)

● **Réduction**

$Ox + pe^- \rightarrow Red.$ (2).

Par exemple pour l'acier dans une solution d'acide chlorhydrique :

Oxydation (1) $Fe \rightarrow Fe2^+ + 2e^-$

Réduction (2) $2H^+ + 2e^- \rightarrow Fe$

Un métal en contact avec une solution agressive joue le rôle de double électrode où se superposent ces deux types de réactions.

Les électrons sont libérés par des réactions anodiques (type 1) et des électrons sont consommés par des réactions cathodiques (type 2).

Hors de la présence d'une solution agressive et sans courants électriques « *vagabonds* », un équilibre s'établit entre les réactions anodiques et les réactions cathodiques. Les électrons libérés sont en quantité égale aux électrons consommés.

Cet équilibre n'existe pour un métal et un milieu ambiant donnés que si dans le milieu, un système réductible produit une réduction simultanée à la réaction de dissolution du métal. **Chaque réaction électrochimique est caractérisée par un potentiel d'équilibre** : potentiel électrochimique ou de dissolution. **Ainsi, pour les réactions précédentes on l'écrira :**

$$E1 = E°1 + \frac{RT}{nF} \text{Log}[M_{n+}]$$

$$E2 = E_o2 + \frac{RT}{pF} \text{Log} \frac{[Ox.]}{[red]}$$

R = constante des gaz parfaits

T = température absolue

F = Faraday = 96.500 coulombs

E_o et E_o1 sont les potentiels normaux d'oxyréduction des réactions 1 et 2. Ils sont répertoriés dans des Tables constantes.

● Dans le cas de la réaction 1, E1 est désigné sous le nom de potentiel normal de dissolution du métal M.

Il n'y a de corrosion que si E2 est supérieur à E1. Le potentiel métal-solution s'établit à une valeur comprise entre les deux valeurs d'équilibre, c'est le potentiel de corrosion du métal dans la solution considérée.

Ceci n'a pas de rapport avec le couple galvanique entre deux métaux ou entre deux composants d'un métal. Lorsqu'on considère la corrosion d'alliages, il faut tenir compte de toute hétérogénéité due à la composition, au soudage, recuit, au rivetage, à tout type d'assemblage, aux écrouissages locaux dus à la mise en formes, à l'aération différentielle, à des gradients de composition et de température du milieu ambiant.

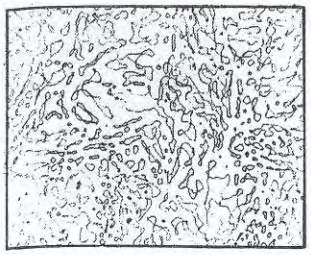


Photo B 4 : *Structure de l'acier URANUS 50. Fond clair : austénite, îlots sombres : ferrite.*



EN HAUT :
Eprouvette de résilience cassée d'un acier ferritique à 25 % de chrome contenant 0,03 % de carbone.



EN BAS :
Eprouvette de résilience cassée du même acier avec une teneur en carbone 0,002 % élaboré sous vide.

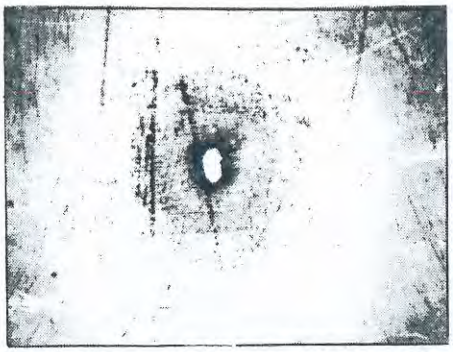


Photo B 4 bis : *Corrosion par piqûre. Au centre la piqûre (anode) et en clair la zone cathode (bleu-violet).*

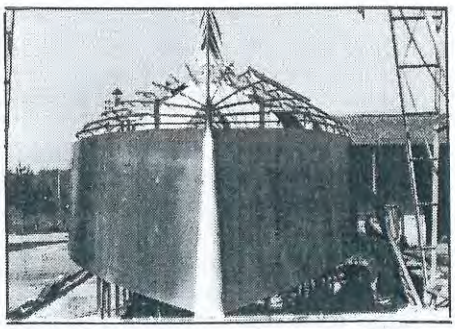


Photo B 3 : *« Ce gros vollier à bouchain fut une des premières constructions en inox réalisées en France, au chantier Brument ».*

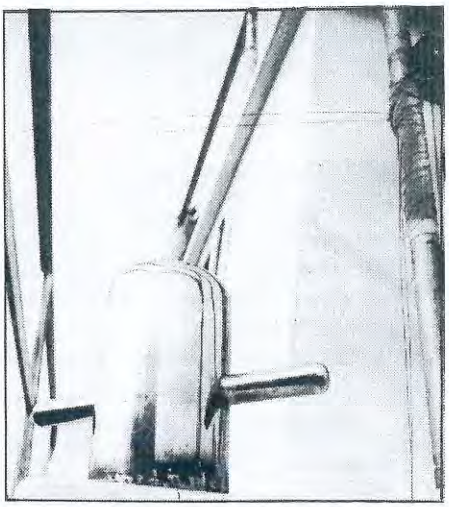


Photo B 5 : *« Bitte d'amarrage en inox. Notez la partie basse brûlée par la soudure. Elle sera décapée et passivée avec un pâte idoine ».*

Photo B 2 : *Onyx, 13 mètres, en inox. (Photo Ugine).*



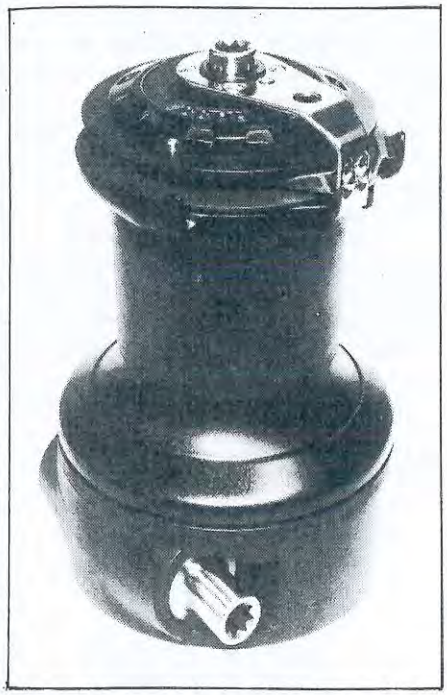


Photo B 6 : *« Inox pour la résistance et aluminium pour la légèreté font bon ménage sur les équipements de pont comme ce winch ». (Photo BARBAROSSA).*

Photo B 7 : *« Sur ce bateau construit en inox chez Brument, vous noterez le fer plat pointé sur le bordé et qui évite de glisser pendant les travaux de construction de la quille. Notez aussi la patte pointée (à gauche) pour retourner la coque ».*

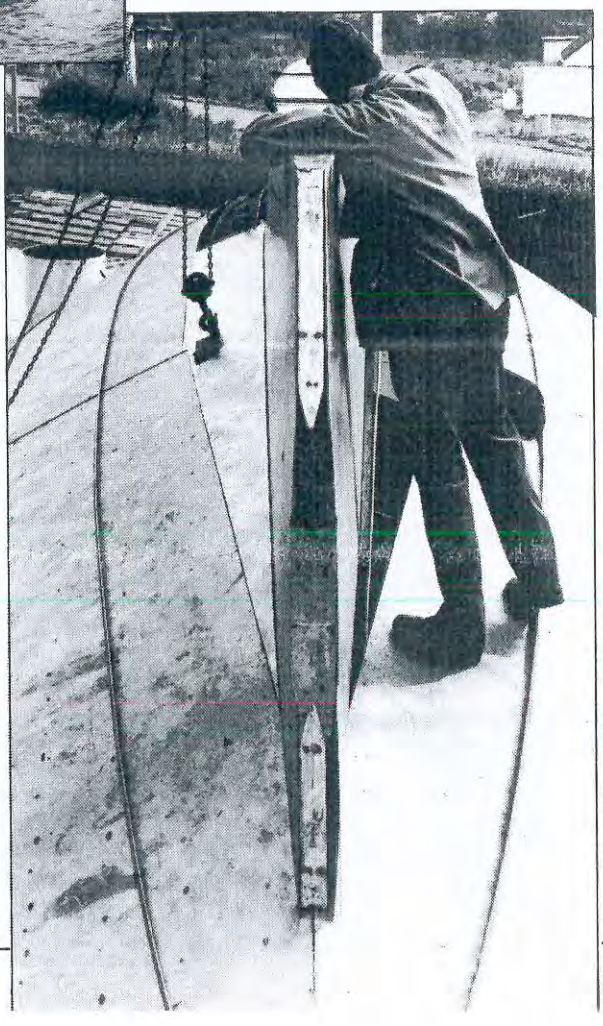
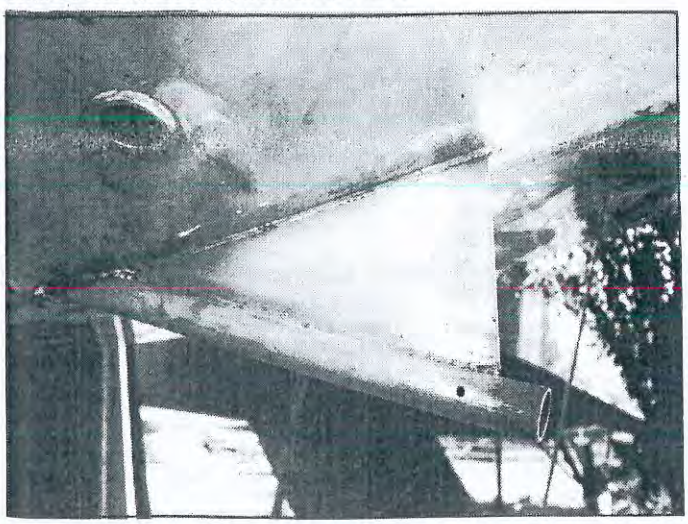


Photo B 7 bis : *« Tube d'étambot, chaise et sortie de vidange de cockpit sur un Vulcain ».*



mer, à sa température ambiante. On ne sait pas avec précision s'il s'agit là d'une corrosion ou d'une rupture au bout d'un nombre donné de cycles, par « fatigue » de l'aluminium.

Une bonne conception de la géométrie intérieure et extérieure du bateau, une bonne aération, un assèchement des fonds, la présence d'anguillers et des échantillonnages sérieusement calculés par des professionnels évitent ces différentes formes de corrosion. L'entretien soigneux d'un bateau quel qu'en soit le matériau de construction, est la seule garantie définitive de sa longévité.

Notamment, il faut éviter la stagnation d'eau douce ou de mer et de salissures, poussières ou déchets (qui, en réalité, sont des produits chimiques) dans les angles et les recoins.

Tables de corrosion

Des tables de corrosion donnent la résistance à la corrosion des aciers inoxydables, selon leur composition, à différents corps simples ou composés, d'usage industriel ou quotidien.

Retenons simplement les cas qui se rapportent au milieu marin.

Milieu ou corps	Nuances conseillées
Atmosphères marine et industrielle	NSM 21 S/NSMC NSM 22 S/NS 21 NS 22 S/NS 21 C
Chlore et dérivés (0 à 30 %)	NS M 21 S/NS MC NS M 22 S
Eau de mer (0 à 30 %)	NSM 21 S/NSMC NSM 22 S
Eau avec impuretés chlorées (0 à 30 %)	NSM 22 S NSM 21 S
Essence, fuel	toutes nuances
Alcool, vins (froids)	NS 22 S NSM 21 S/NSMC

(photos B 4 à B 6, croquis B 3 à B 3 bis).

4

ACIERS INOXYDABLES, ACTIFS, PASSIFS

On trouve dans certains tableaux de potentiels galvaniques, la présence d'un acier inoxydable passif puis d'un acier inoxydable actif.

Le premier sans grande réaction avec l'acier, le second apparaissant comme très réactif sur l'acier et formant cathode avec l'acier (anode).

On doit dire très fort et très haut qu'il n'est rien !

Les aciers inoxydables sont des alliages d'acier au chrome. Leur résistance à la corrosion dépend du pourcentage de chrome. Les aciers sont dits inoxydables lorsqu'ils contiennent plus de 12 % de chrome. Vous verrez plus loin dans l'étude des aciers inoxydables pour la construction navale, les pourcentages qui sont utilisés pour les bateaux. Le chrome provoque à la surface de l'acier, dit alors inoxydable, une oxydation qui arrête la corrosion. Cette couche d'oxyde a un rôle dit de passivation. Cette oxydation est celle du chrome lui-même. Lorsque le métal n'est pas encore recouvert de sa couche passivante, il est dit actif. Mais cet état ne dure pas. La corrosion qui touche l'inox non passivé n'est pas électrolytique. C'est l'oxydation des molécules d'acier (de fer) contenues dans l'alliage d'acier inoxydable. La passivation se fait toute seule par oxydation du chrome. L'acier inoxydable reste actif moins d'une journée après sa fabrication ou sa transformation : découpage, meulage, lustrage, polissage, soudage. Il se passive automatiquement à l'air en quelques heures.

A 17 % de chrome, les réactions de l'inox à ces transformations mécaniques sont bien connues. A 18 % de chrome, l'inox est plus difficile à travailler.

On se trompe souvent sur la désignation des inox. Que ce soit 18 x 8 ou 18 x 10 selon les normes des différents pays, on se trouve en présence d'un acier inoxydable à 17 ou 18 % de chrome.

Lorsqu'on parle d'acier inoxydable au molybdène, on se trouve forcément en présence d'un inox dit 18 x 12 car ce n'est qu'à cette proportion de composants que le métal est équilibré.

Le seul chiffre à retenir est finalement la teneur en chrome. C'est le 18 de 18 x 10, 18 x 12, par exemple.

Les chiffres 18 x 8, 18 x 10, 18 x 12 n'annoncent pas la teneur en molybdène (!) mais la teneur en chrome pour le premier chiffre et en nickel pour le second. Nous y reviendrons.

Passif, le métal est recouvert d'un film d'oxydation du chrome. Il prend un potentiel métal-solution élevé. Il ne se corrode pas.

Actif, le temps de quelques heures je le répète, l'inox ne possède pas encore cette couche protectrice (passivante). Il prend alors un potentiel métal - solution inférieur à celui de l'hydrogène et se corrode vite.

La passivation est automatique. Après un accident atteignant la surface de l'inox, la couche d'oxyde de chrome se reforme seule. Mais il peut arriver que l'oxydation des molécules de fer se fasse plus vite. Alors l'inox paraît « rouiller ». En effet, l'oxydation passivante du chrome peut être moins rapide que celle des particules de fer. Mais il suffit alors de nettoyer et de passiver le métal pour que la corrosion de surface cesse.

La stabilité de la couche passivante dépend de plusieurs facteurs dont la composition de l'acier inoxydable, la nature du milieu, l'état de surface, le traitement passivant préalable, etc.

Du nickel, du cuivre et du molybdène complètent l'action protectrice du chrome et leur pourcentage définit la qualité, et donc les types d'utilisations des aciers inoxydables.

Les produits proposés dans le commerce : feuillards, tôles, profilés, fils, sont livrés à l'état passif.

Retenons qu'il n'existe pas en l'état naturel d'inox actif car l'inox s'autopassive de lui-même en quelques heures. Les seules considérations à prendre en compte sont celles de l'inox passif dont le seul nom est une erreur puisque forcément sur un laps de temps donné l'inox sera passivé volontairement ou automatiquement.

On peut en effet passiver l'inox, et on le doit après certaines interventions telles que le soudage. On applique alors une pâte à base d'acide nitrique qui réagit sur le chrome plus vite que l'oxygène ne réagit sur le fer. Ainsi l'inox est passivé avant qu'une corrosion du fer n'apparaisse, et cette corrosion du fer ne se produira pas.

On notera au bout d'un temps assez long que l'inox prend une coloration dorée. C'est le fer de l'acide inoxydable qui rouille légèrement. Il suffit alors de passer la surface du métal au polish pour que la coloration disparaisse et que la corrosion du fer s'arrête. C'est alors le seul entretien qu'on ait à assurer sur un bateau en inox !

POTENTIELS DE DISSOLUTION PAR RAPPORT A UNE ELECTRODE D'ARGENT ENROBEE DE CHLORURE D'ARGENT

Métal	F.E.M. (Volts)
Magnésium et alliages	1,65
Zinc et alliages	1,10
Acier galvanisé	1,10
Cadmium	1,10
Aluminium	0,82
Alliages d'aluminium	0,73/0,75
Acier doux et fonte grise	0,60
Acier inoxydable Aisi 304 (actif)	0,53
Laiton, bronzes au manganèse	0,40
Nickel et alliage au chrome nickel (actif)	0,40
Cuivre	0,36
Bronze d'aluminium (cupro aluminium)	0,32
Bronze à l'étain (cupro étain)	0,29
Cupronickel	0,25/0,28
Nickel (passif)	0,20
Acier inoxydable Aisi 316 (actif)	0,18
Alliage chrome nickel (passif)	0,17
Acier inoxydable Aisi 304 (passif)	0,084
Métal Monel	0,075
Acier inoxydable Aisi 316 (passif)	0,050

POTENTIELS NORMAUX DE DISSOLUTION PAR RAPPORT A L'ELECTRODE A HYDROGENE

METAL	POTENTIEL EN VOLTS
Au	+ 1,45
Pt	+ 1,20
Ag	+ 0,80
Hg	+ 0,79
Inox 18 x 10 passif	+ 0,60 à 0,90
Cu	+ 0,34
HYDROGENE	**0**
Pb	— 0,13
Sn	— 0,14
Ni	— 0,23
Inox 18 x 10 actif	— 0,10 à — 0,40 pendant qq h. seulement
Co	— 0,28
Fe	— 0,44
Cr	— 0,74
Zn	— 0,76
Mn	— 1,19
Al	— 1,66
Mg	— 2,37

(Photos B 7 et B 7 bis).

5

MISE EN OEUVRE DES ACIERS INOXYDABLES

Stockage :

Les aciers inoxydables doivent être stockés à part et non mélangés aux aciers ordinaires. Leur état de surface a beaucoup d'importance et il convient de ne pas les rayer sous peine d'entamer la couche passivante et de les voir, éventuellement, s'oxyder. Comme c'est l'air qui assure la protection passivante, il faut éviter toute projection de plâtre, ciment, etc. Un stockage vertical est conseillé à condition que les tôles soient appuyées à des cadres présentant plusieurs appuis. De même horizontalement, les tôles ne doivent présenter aucune flèche.

Formage à froid :

A l'état recuit, la dureté des aciers inoxydables est importante. Les aciers austénitiques sont très sensibles à l'écrouissage. Les machines de formage à froid des aciers inoxydables doivent être plus puissantes que pour le travail des aciers ordinaires.

L'allongement des aciers ferritiques est inférieur à celui des aciers austénitiques et ils sont moins sensibles à l'écrouissage. Les faibles vitesses de travail permettent des déformations plus importantes. Les possibilités d'emboutissage des aciers ferritiques sont inférieures à celles des aciers austénitiques.

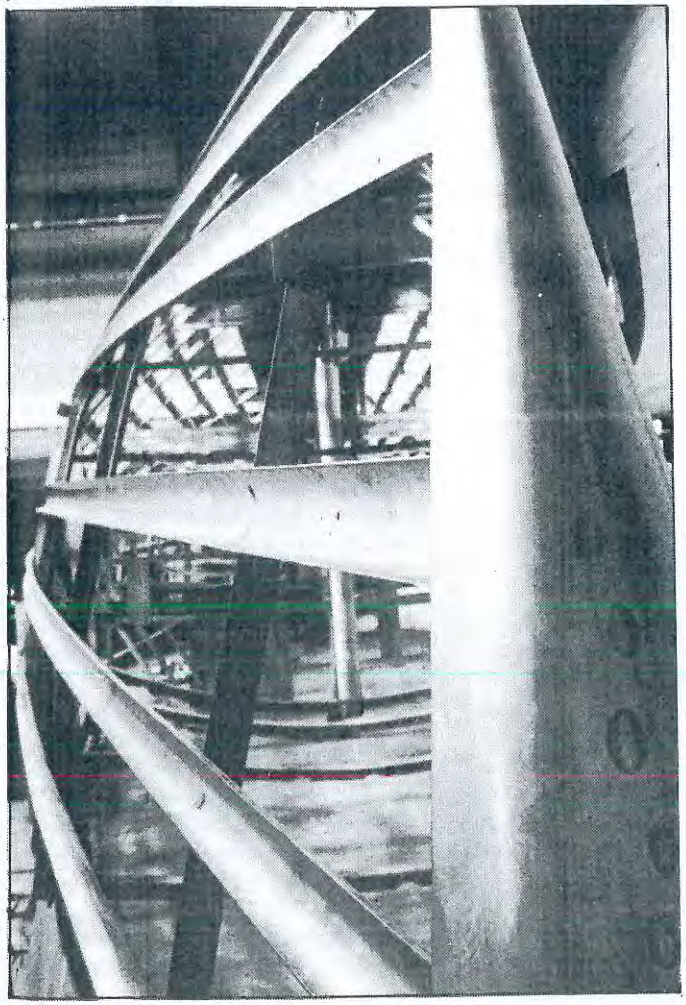
Les aciers inoxydables présentent un important retour élastique : 5 degrés pour 90°. Il faut donc une machine pliant à 85° d'angle intérieur. La tôle prendra d'elle-même un angle de 90°.

Traçage :

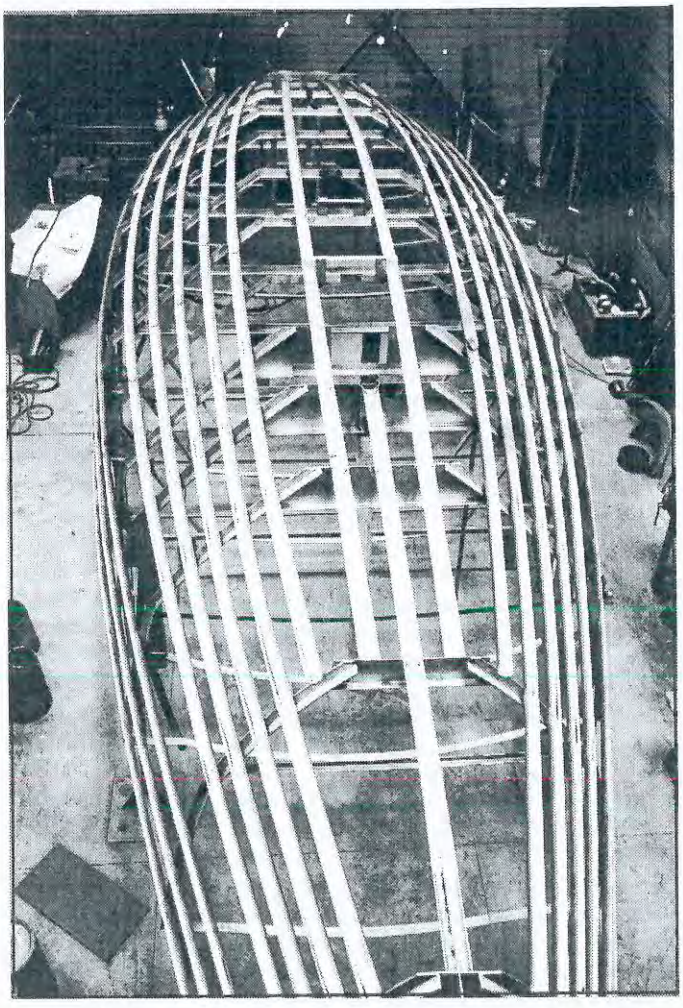
Les instruments de traçage sur tôle d'inox sont les mêmes que pour l'acier. Il faut éviter de travailler avec des instruments en acier, rouillés, sur de l'inox. On utilise plutôt des règles en plastique.

Il faut absolument éviter de rayer la face qui se trouvera à l'extérieur. Mieux vaut utiliser des crayons à mine de graphite ou des feutres, que des pointes en acier trempé.

« Gros plans sur les lisses en demi-tube d'un Trisinox, dériveur à fond plat ». (Photo B.D.S.).



« Notez les lisses en oméga (demi-tube) sur ce Trisinox ». (Photo B.D.S.).



Cisaillage :

On utilise les mêmes instruments que pour l'acier = scies droites et circulaires ; cisailles à levier, guillotines...

Les lames droites des guillotines sont remplacées par des molettes qui tournent en sens opposé, pour faire des découpes courbes.

Les couteaux des cisailles droites alternatives sont des barreaux carrés de 14 à 30 mm de côté. Les deux barreaux ne croisent pas.

La dureté de surface de l'inox entraîne un écrasement des rives du métal qui s'effondrent, forment des biseaux et des bavures. Il faut donc, pour éviter ces amorces de ruptures, affleurer les rives et les ragréer.

Pour les découpes droites, les guillotines conviennent bien. Les remarques précédentes se portent aussi sur les rives des découpes à la guillotine.

Des serre-flans durs risquent de marquer la tôle. Il faut utiliser des serre-flans en matériau synthétique. La chute doit être soutenue dans un cisaillage, sinon elle crée une déformation de la tôle et une amorce de rupture. Eviter les outils présentant des traces de rouille.

Roulage :

La capacité d'une rouleuse adoptant 3 mm d'acier doux ne sera que de 2 mm d'inox. Les inox peuvent présenter des méplats lors de leur roulage, ce qui est peu fréquent avec des aciers doux. Il faut donc tenir le plus grand compte du retour élastique.

Les tôles d'inox risquent de marquer la surface des rouleaux. Il faut manier les tôles d'inox avec précaution lors des changements et inversions de marche.

Grignotage :

On le pratique sur des cisailles du même type que les cisailles alternatives. Les couteaux sont circulaires : poinçon en haut et matrice circulaire en bas. Les découpes présentent des cannelures qui devront être affleurées. La capacité des machines est réduite de quatre fois par rapport aux épaisseurs d'acier doux.

Sciage :

Le sciage à la scie à métaux doit se faire à vitesse lente : 50 courses à la minute. Scies de 7 à 12 dents par cm. Les scies sauteuses conviennent, avec des lames courtes à denture fine. Pour l'acier doux, l'épaisseur coupée atteint 5 mm. Pour l'inox, elle n'est que de 2,5 mm.

Les scies alternatives à lame droite auront une denture de 2 à 5 dents par cm, soit 5 à 14 dents par pouce, et travailleront de 75 à 100 courses par minute. Les scies à ruban permettent de couper jusqu'à 8 mm. Pour les épaisseurs de 5 mm, on utilisera 10 à 14 dents au pouce, avec une vitesse de sciage de 12 à 15 m/mm. Il existe des lames à dentures spéciales atteignant de meilleures performances.

On utilise des fraises-scies pour des découpes précises de profilés.

On lubrifie la coupe à l'huile de colza.

Les profils seront en général coupés à la tronçonneuse à disque. Les épaisseurs de disques sont de 2,5 à 6 mm pour des diamètres de 130 à 250 mm. La vitesse est de 45 à 80 mm par seconde. Cette méthode peut provoquer de grandes déformations des rives des tôles et des tubes. Tôles et tubes sont sciés à la scie ruban ou à la scie à métaux à main.

Perçage :

A la condition de prendre les précautions suivantes, le perçage de l'inox épais, même sans avant-trou, est d'une étonnante facilité.

Les forets auront un angle de pointe de 140 à 150°. L'angle de dépouille sera de 5°. On peut poinçonner pour marquer l'emplacement du centre du trou mais sans frapper fort, ce qui écrouirait le métal et rendrait le perçage plus difficile. Mieux vaut un avant-trou fait avec un foret de petit diamètre.

Les trous sont précis, bien cylindriques. Le bord des trous est peu écroui. Mais les inox ont tendance au grippage. Il ne faut pas percer en appuyant trop fort et il est bon d'arroser d'huile le perçage, comme le taraudage. Pour tôles d'inox (R = 600 N/mm²), la vitesse de rotation est inférieure à celle du perçage des aciers doux. On utilisera des réducteurs de vitesse sur des perceuses rapides.

On peut trépaner des tôles d'inox : perçage de trous de grand diamètre pour passage de tubes, etc. Le trépan possède un guide central et deux ou trois couteaux assurant la coupe.

Le poinçonnage de l'inox est courant. L'effort de poinçonnage est plus important pour l'inox que pour l'acier doux.

Meulage :

On utilise le même outillage pour meuler, ébarber, tronçonner, chanfreiner, ragréer.

Les abrasifs doivent être exempts de fer et, bien évidemment, de traces de rouille. On utilise le carbure de silicium ou de l'oxyde d'aluminium.

L'outillage se compose de meuleuses portatives électriques ou pneumatiques, plus légères et plus rapides.

Le meulage de dégrossissage s'effectue avec des meules droites à gros grain : 16 à 40, d'un diamètre de 100 à 178 mm, d'une épaisseur de 20 à 25 mm. La meule se place perpendiculairement à la pièce. Le travail se fait sur son chant. **Vitesse de rotation** : 25 à 30 m/seconde.

Ebarbage et chanfreinage se font avec des meules d'angle à position verticale. Diamètre de 130 à 230 ; épaisseur de 2,5 à 6 mm ; vitesse de 45 à 80 m/seconde.

La finition de meulage, avant le polissage nécessaire, se fait avec des disqueuses verticales. Les disques abrasifs sont montés sur des supports rigides ou souples. Leur diamètre est de 130 à 230 ; granulométrie de 24 à 400 ; vitesse de 30 à 45 m/seconde. Le pré-polissage se fait avec les mêmes disques, à grain fin, tournant à 12 ou 15 m/seconde. Un réducteur de vitesse peut être nécessaire.

Le meulage peut être fait au flexible pour des travaux de pré-finition : ragréage des angles, des coins, des bordures. Cet outil est en quelque sorte une fraise de dentiste.

Le meulage peut être fait, lorsque la géométrie de la pièce le permet (larges surfaces dégagées) avec des meuleuses à bandes abrasives. Les rubans ont une granulométrie de 40 à 400, d'une largeur de 80 mm. Vitesse 25 à 36 m/seconde. Montage sur transmission « Blackstand ».

Le meulage doit absolument être suivi d'un polissage.

Il ne faut pas effectuer le meulage avec une pression trop forte qui aurait pour effet de chauffer le métal et de provoquer des déformations lorsque la tôle est mince : par exemple 2,5 mm. Il faut effectuer des balayages et surfaçages rapides en relevant le disque en fin de course pour éviter de creuser le métal.

Il faut absolument éviter de rayer le métal au-delà de la surface qu'il est nécessaire de meuler car le travail de polissage en sera accru !

Il faut absolument éviter de meuler de l'acier doux face à une tôle ou un bateau en inox. Les particules projetées rouilleraient et piqueraient la surface de l'inox, amorçant une corrosion tenace.

Polissage :

Le polissage est un point important et spécifique de l'inox. Le meulage qui précède le polissage doit être aussi fin que possible.

C'est un travail de finition définitive à rôle décoratif, mais avant tout à rôle préventif pour éviter la corrosion par encrassement des rayures laissées par un travail maladroit.

Le polissage est une opération soit manuelle soit mécanique. L'opération manuelle s'effectue sur de petites surfaces : cadène, balcon, hiloire de roof sur pont en inox. L'opération mécanique s'applique sur l'ensemble de la coque et les zones du pont non recouvertes de matériau antidérapant.

Manuellement, le travail se fait avec une gomme abrasive ou des pains synthétiques à grain de plus en plus fin. Il ne faut pas creuser le métal. Le fini nécessaire pour un bateau est dit *« satiné »*. On ne pousse pas le travail jusqu'au *« poli brillant »* réservé aux cadènes et aux petites pièces.

Les soudures sont totalement arasées, planées et écouennées avec une râpe à denture curviligne dite *« lime-écou-*

enne ». Les gestes se font perpendiculairement à la soudure.

Un bon meulage fin, sans atteintes portées à la tôle, peut éviter l'écouennage et être directement suivi d'un polissage.

Le polissage mécanique se fait avec des tourets fixes ou sur flexible. **Il s'agit de roues montées sur un bloc rotatif. Ces roues sont de plusieurs natures :** elles sont appelées « buffles » et le polissage est aussi appelé « bufflage ».

Il s'agit de roues faites de :

- Feutres garnis de grains abrasifs.
- Brosses en poils naturels ou synthétiques « Tampico ».
- Tampons de coton comprimé.
- Texture en fibres non tissées liées par une résine agglomérée de grains abrasifs (Scotch-Brite...).

En général, l'abrasif est un oxyde d'aluminium minimum ou un carbure de silicium dont les avantages sont de ne pas contaminer la surface d'inox et de donner une abrasion constante et durable.

Le polissage se fait à sec ou sous lubrifiant. Un simple essuyage termine le polissage.

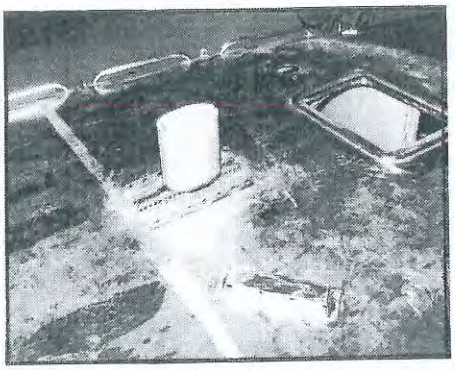
Le grain varie de 40 à 600 ; la vitesse de rotation est de 36 m/seconde ; les diamètres des buffles sont de 200 à 320 mm.

Le polissage se fait sur les parties non peintes alors qu'un dépolissage aux plus gros grains de la fourchette indiquée est fait sur les zones à peindre.

Polir évite la stagnation des salissures et une oxydation plus rapide que la passivation.

Dépolir améliore l'accrochage des peintures. Il faut penser à repassiver le métal.

L'un et l'autre sont indispensables à l'extérieur du bateau (*croquis B 4 à B 12*).

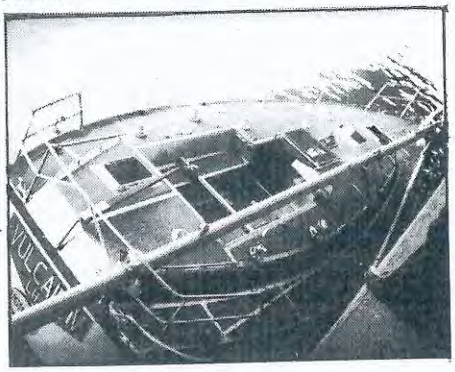


« Pied de mât sur un Vulcain en inox ».

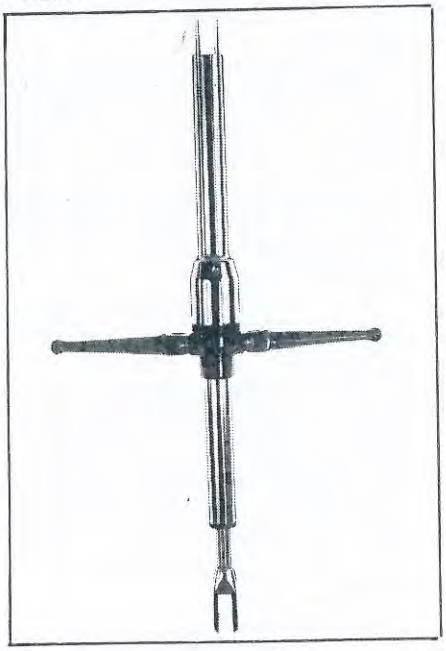
Soudure inox meulée (chantier BRUMENT).



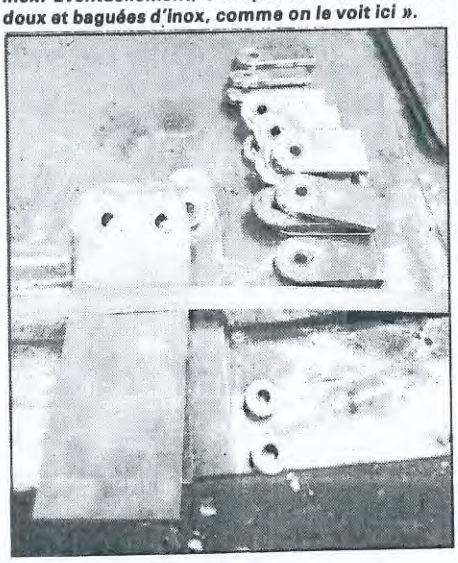
« Le pont d'un bateau en inox ne sera généralement pas peint à cause de la difficulté de mise en œuvre. On y collera un revêtement antidérapant ».



« Le corps de ce ridoir à volant est en inox poli. Une telle pièce restera comme neuve avec un minimum d'entretien. Si l'inox n'était pas ainsi poli, il « rouillerait bien vite ». (Photo BARBAROSSA).

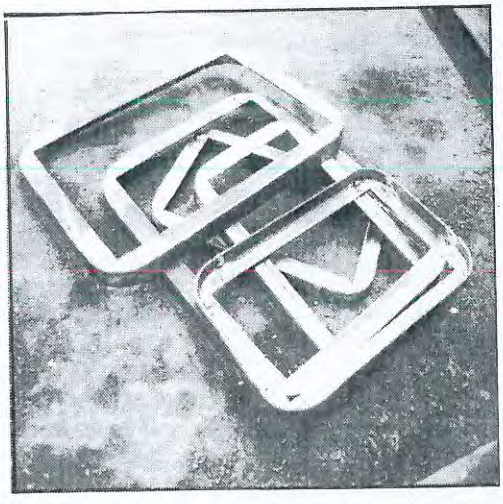


« Des cadènes. En général, les cadènes seront en inox. Eventuellement, elles peuvent être en acier doux et baguées d'inox, comme on le voit ici ».



« Rien ne protègerait mieux les angles des roofs, cockpit, pavois de cet Ile Disko que ces tubes en inox ».





« Les supports de panneaux de pont gagnent à être en inox ».

6

NOTIONS SUR LE SOUDAGE DES ACIERS INOXYDABLES

Un acier inoxydable est un acier contenant un minimum de 11 à 13 % de chrome qui le rend très oxydable à l'état fondu. Un défaut de protection vis-à-vis de l'air peut provoquer une vive oxydation du cordon, une perte de chrome, la formation d'oxydes, l'oxydation encore plus vive du silicium et du titane.

Le soudage doit donc être protégé et effectué hors de tout courant d'air.

Les inox sont peu conducteurs de la chaleur, l'échauffement local n'est donc pas réparti. Le « *choc thermique* » sera plus brutal. Les déformations seront donc plus importantes. On les évite :

- par une bonne conception du joint d'assemblage,
- en réduisant l'intensité de soudage,
- en diminuant la vitesse de soudage,
- en augmentant le nombre de passes, fines,
- en soudant sur un support en cuivre.

Un très bon dégraissage doit précéder le soudage, les rives doivent être très nettes et très propres comme c'est aussi le cas pour l'aluminium.

SOUDAGE A L'ARC AVEC ELECTRODE ENROBEE

Procédé artisanal le plus employé par l'amateur et les artisans pour le soudage des aciers doux, il convient aussi, dans ces mêmes cas, pour souder l'inox.

Le laitier protecteur provient de l'enrobage des baguettes. L'enrobage contient le laitier protecteur mais aussi des éléments d'addition du métal déposé. Ce procédé convient pour des épaisseurs supérieures à 2 mm.

On travaille en courant continu avec le pôle positif relié à l'électrode, pour tous les types d'inox.

Epaisseur des tôles	Ø d'électrode	Intensité moyenne de courant continu	Volt maxi
en mm	en mm	en ampères	volts
2,5	2,5	60	24
3	3,15	100	25
4 à 5	4	135	26

Préparation des bords :

Epaisseur des tôles en mm	Préparation	Passes à effectuer
2,5 et 3	bords bruts de cisaillage mais nets écartés de 1,5 mm	1 passe avec reprise du côté corrosif
4 à 10	Chanfrein en V avec talon de 1,5 à 3 mm écartement de 1,5 à 3 mm	1 à 3 passes avec reprise à l'envers

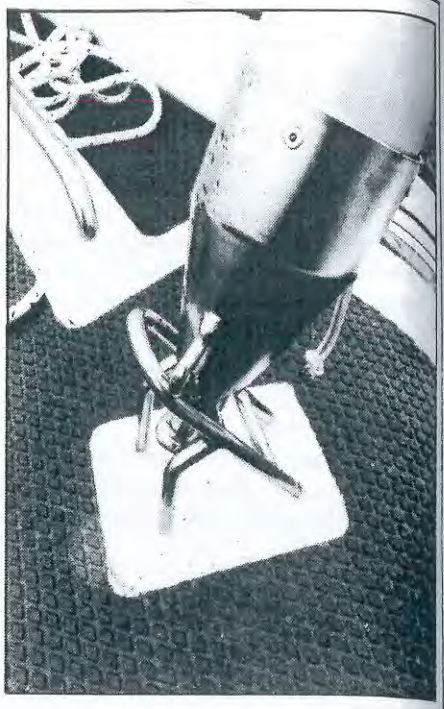
Notes :

- Si les cordons sont effectués en plusieurs passes, il faut nettoyer chaque passe par piquage et à la brosse inoxydable avant la passe suivante. Il ne faut surtout enfermer ni laitier ni oxydes entre deux passes.
- Le pointage doit être plus resserré que pour les aciers doux = 7 cm entre deux points pour une épaisseur de tôles de 3 mm.
- Les supports en cuivre, s'ils sont utilisés, doivent être placés de façon à éviter une contamination du cordon par la fusion du cuivre.
- L'arc doit être maintenu le plus court possible et l'électrode moins inclinée que pour le soudage de l'acier doux.
- Dans un cordon multipasse le premier cordon assure la résistance mécanique. Il doit être bien pénétré et important.
- Le dernier cordon doit être aussi propre, régulier et fin que possible car il assure la protection contre la corrosion. On évite ainsi de trop avoir de travail de finition à y effectuer.
- Pour les bateaux, un cordon doit presque toujours être repris à l'envers.
- A chaque nuance d'inox correspond une gamme d'électrodes qu'indique le fournisseur selon le type de travail à effectuer. Les conseils d'Uginox Gueugnon seront très utiles à chacun.

SOUDAGE T.I.G.

Vous savez désormais bien qu'il s'agit du soudage « Tungsten-Inert-Gas », sous argon avec électrode de tungstène, avec ou sans apport.

On travaille en courant continu avec pôle négatif relié à l'électrode de tungstène. Le bain liquide est protégé par l'argon qui arrive autour de l'électrode de tungstène d'où jaillit l'arc. L'arc est très stable. La qualité des cordons est très bonne ainsi que leur aspect facile à nettoyer à la brosse inoxydable. La protection d'argon évite la perte de chrome si le débit d'argon n'est ni trop faible ni trop fort et qu'il n'y a pas de courants d'air ni de turbulences à l'arc.



« Main-courante et ferrure de tangon en inox sur Vagabond 2 ».

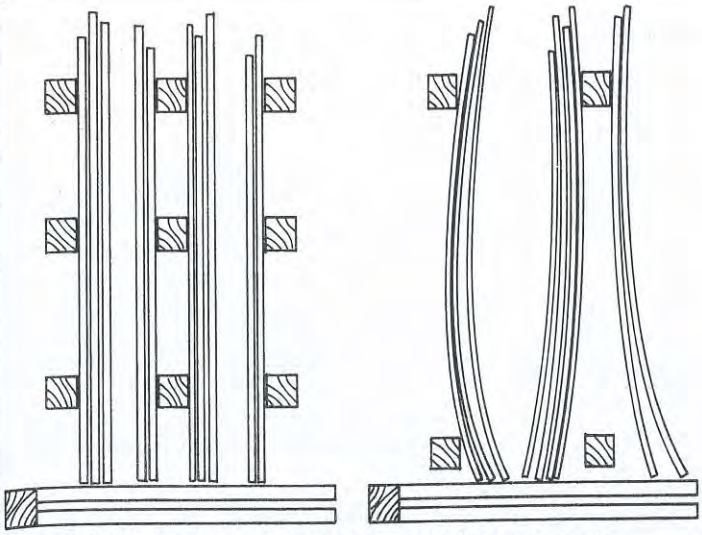


« Points d'écoute et d'amure de foc en inox ».

Ce procédé convient pour le soudage des tôles très fines de moins de 2 mm, mais peut être poussé jusqu'à 4 mm. Il sera donc assez peu utilisé pour les bateaux encore qu'il convienne pour les ponts et le bordé supérieur.

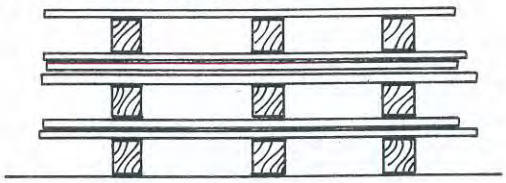
Epaisseur des tôles	Intensité	Métal d'apport	Débit d'argon	Electrode de tungstène
en mm	A	Ø en mm	l mm	Ø en mm
2	100	1,6	3	1,5
3	120	2	4	2
4	150	3	5	2

On peut souder des tôles plus épaisses en plusieurs passes. La passe de fond peut être faite en TIG et les autres passes en MIG.

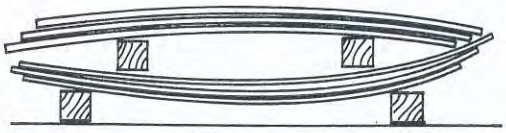


Croquis B 4 : *Rangement vertical. Bastaings rapprochés.* *Bastaings trop espacés.*

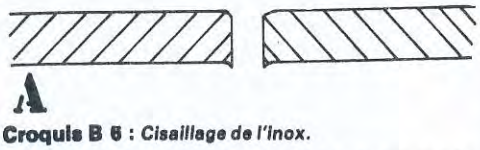
Croquis B 5 : *Rangement horizontal.*



Bastaings réguliers et rapprochés.



Bastaings irréguliers et trop écartés.



Croquis B 6 : *Cisaillage de l'inox.*

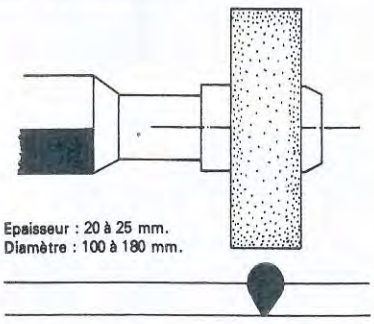


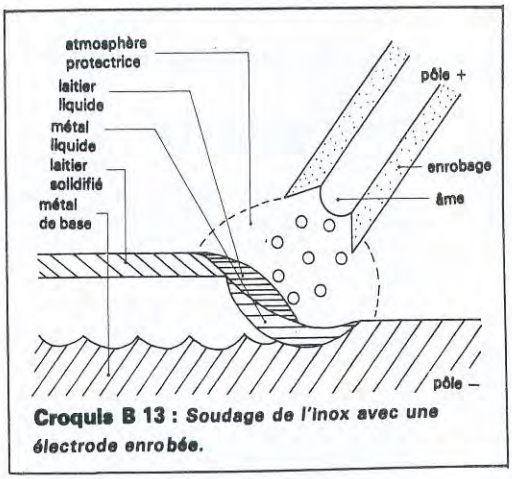
A = Coupe d'un acier doux, nette, franche.
B = Coupe de l'inox, rives affaissées avec fortes bavures à ébavurer.



Croquis B 7 : *Lime écouenne à denture curviligne pour écouennage de l'inox et des alliages d'aluminium. Denture non oxydable.*

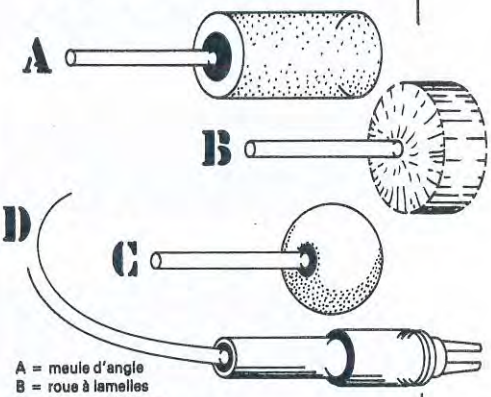
Croquis B 8 : *Meulage dégrossissage à la meule droite, à gros grain.*





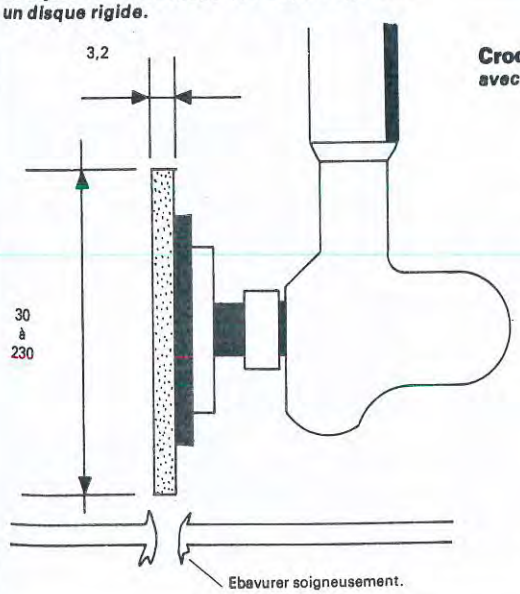
Croquis B 13 : *Soudage de l'inox avec une électrode enrobée.*

Croquis B 12 : *Meulage au flexible*

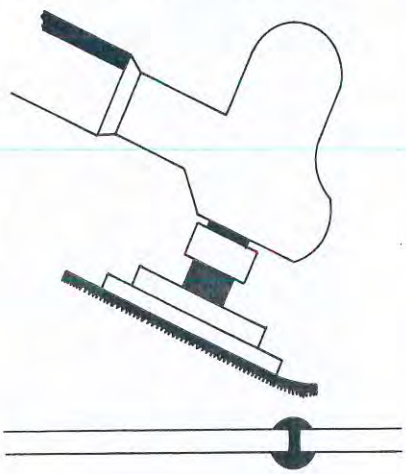


A = meule d'angle
B = roue à lamelles
C = Meule sphérique
D = Flexible et pince porte meule

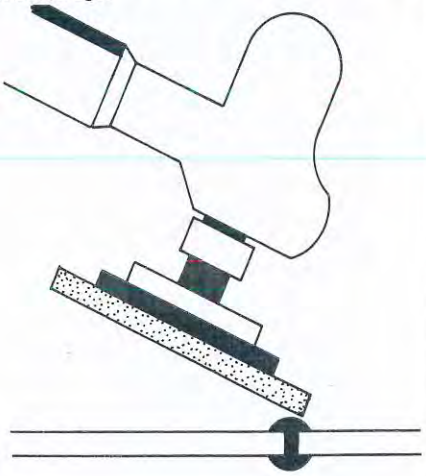
Croquis B 9 : *Découpe et tronçonnage avec un disque rigide.*



Croquis B 10 : *Arasage grossier d'une soudure avec un disque rigide de diamètre 130 à 230 mm.*



Croquis B 11 : *Arasage fin d'une soudure avec un disque abrasif souple, valable pour le ragréage et l'affleurage.*



Diverses précautions sont indispensables dans la composition et le réglage du jet d'argon additionné d'hélium ou d'hydrogène pour le soudage des inox austénitiques.

Le soudage au Plasma utilise les mêmes bases que le soudage TIG avec un jet de plasma beaucoup plus chaud que le TIG classique.

SOUDAGE MIG

C'est le procédé dit « semi-automatique » classique dans le soudage des aciers.

L'électrode est un fil nu de 0,8 à 1,6 mm de diamètre poussé à une vitesse constante dans un tube-contact en cuivre qui amène le courant. L'arc jaillit entre le fil et la pièce à souder. Le fil fond au fur et à mesure. On travaille en courant continu avec le pôle positif relié au tube-contact, c'est-à-dire au fil-électrode ou fil MIG (polarité inverse).

Le gaz de protection est amené par la torche autour du fil électrode. En général, c'est de l'argon + 1 à 3 % d'oxygène qui favorise l'étalement du métal fondu. En régime d'arc court, pour le soudage de faibles épaisseurs on ajoute du gaz carbonique et de l'hélium.

Le procédé MIG utilise des régimes d'arc variés selon les cas suivants :

- régime de transfert en grosses gouttes ou « *arc court* » avec faibles intensités en tension pour épaisseurs jusqu'à 2 mm (réservoirs, etc.).

- régime en pluie ou « *arc long* » pour intensités élevées. Par exemple, 30 volts et 270 ampères pour un fil de 1,2 mm de diamètre en acier inox austénitique.

- régimes intermédiaires.
- régime d'arc pulsé où on superpose à un courant de base continu d'intensité faible des pulsions élevées, celle du secteur par exemple. Ces pulsions détachent des gouttes de métal fondu et donnent un cordon plus régulier.

La vitesse de soudage MIG est plus rapide qu'en TIG. Les cordons sont moins beaux, avec un aspect bombé qu'il faudra meuler puis polir. Attention à une mauvaise tenue de la torche qui provoque des collages sans résistance mécanique.

C'est pourtant le procédé qui donnera sinon les cordons les plus beaux, du moins ceux qui conviennent le mieux au travail de construction navale. Les nuances de fils en fonction des nuances des tôles à souder sont indiquées par le fournisseur et avec les conseils d'Ugine-Gueugnon.

Il existe d'autres procédés de soudage d'inox mais adaptés à des industries d'un niveau de productivité sans rapport avec la construction navale qui reste d'un niveau artisanal. Ce dont on n'a pas à se plaindre car cet aspect conserve une relation directe et humaine entre le constructeur, l'architecte et leurs clients.

CHOIX DU PROCEDE

La technicité des soudeurs, les rendements à atteindre et les épaisseurs à souder impliquent un choix de procédé.

Le soudage en une seule passe peut déterminer les catégories suivantes :

- **5 mm avec chanfrein** : arc avec électrode enrobée.
- **2 mm sans chanfrein** : TIG sans apport.
- **7 mm sans chanfrein** : Plasma.
- **3 à 4 mm sans chanfrein** : MIG.
- **7 à 8 mm avec chanfrein** : MIG.

(Croquis B 13 à B 15).

7

SOUDAGE DES DIFFERENTES FAMILLES D'INOX

De la structure des différentes familles d'inox découlent des particularités de soudage. Le choix du métal d'apport dépend de la famille d'inox et du type de soudage utilisé.

Voici quelques exemples :

SOUDAGE HOMOGENE D'INOX AUSTENITIQUES :

Il faut éviter les risques de fissuration des soudures. Les soudures risquent de se fissurer en fin de solidification par suite notamment d'hétérogénéités et de contraintes de retrait. Abaisser l'intensité de soudage diminue ces contraintes en diminuant la largeur de bain de fusion. On les évite aussi en utilisant des métaux d'apport donnant des dépôts austéno-ferritiques. 4 à 10 % de ferrite suffisent pour assurer la fusion des impuretés. 5 à 7 % de manganèse jouent ce même rôle dans certains cas où la ferrite n'est pas souhaitée.

SOUDAGES HETEROGENES

Lorsqu'on soude entre elles deux nuances d'aciers inoxydables à l'arc avec électrode enrobée ou en MIG, la nuance du métal d'apport varie selon la résistance recherchée. On choisit la même nuance que l'acier le plus chargé. Il en va de même lorsqu'on soude un acier inoxydable ferritique à un acier inoxydable austénitique ou ce dernier à un acier ordinaire. Ce dernier cas de figure ne pose pas de problème. On opte pour un métal d'apport à forte teneur en nickel, par exemple un électrode Fluginarc N 65 dont le coefficient de dilatation est voisin de celui de l'acier ordinaire.

On tient compte de la composition approximative obtenue dans le bain pour choisir le métal d'apport d'une soudure d'un acier ordinaire à un acier inoxydable.

En MIG, et en soudage à l'arc, on se base sur une dilution du métal d'apport par les métaux de deux pièces à souder de l'ordre de 30 %. On utilise le diagramme de Schaeffler. Des nuances d'apport telles que 24-12 (Uginarc-R-27) ou 20-10-3 électrode enrobée Uginarc.-MK2) conviennent en général et conduisent à une bonne ductilité du cordon. Pour les assemblages très difficiles, on choisit aussi la nuance de métal d'apport 29-9.

Chanfreinage

Le chanfreinage délimite des coupes en biais sur les rives des tôles à assembler pour leur soudage à l'arc, TIG ou MIG. Cet angle qui en permet le bon accostage varie de 20 à 45° pour chaque tôle, soit un angle total de 40 à 90°. On laisse subsister un talon ainsi qu'un espace entre les tôles. La largeur du talon et l'espacement dépendent de l'épaisseur des tôles, du type de soudage, de la nuance d'inox. Voyez les indications sur les différents types de soudage.

Le plus fréquemment ces chanfreins sont faits à la meuleuse portative. On utilise aussi des chanfreineuses raboteuses, grignoteuses, etc.

Il faut faire attention à ne pas déformer le bord des tôles notamment si les tôles ont déjà été guillotinées et que le bord inférieur est légèrement affaissé.

Les accostages sont en général en V ou en X.

CONCEPTION DES ASSEMBLAGES

En règle générale, les difficultés ou « *interdits* » concernent peu la construction navale. Par exemple, il vaut mieux éviter une soudure en angle intérieur pour un réservoir ou une cuve devant contenir certains produits chimiques ou alimentaires. Un réservoir à fuel ne posera guère ce genre de souci, pas plus qu'un réservoir à eau.

On évitera dans les soudures de la structure de bloquer la circulation de l'eau à l'intérieur du bateau ce qui occasionnerait des stagnations de salissures humides favorables à une corrosion par aération différentielle.

Il faut savoir que l'inox est en général sensible aux chauffes et se déforme plus facilement qu'un acier doux, et ce d'autant plus que ses caractéristiques mécaniques permettent souvent d'en diminuer l'épaisseur.

On choisira le plus souvent possible de souder en bords relevés. C'est ainsi qu'est conçue la liaison pont-coque des Vulcain du chantier *Brument* que ce soit pour pont et coque inox ou pont inox et coque acier.

Voyez les dessins qui expriment bien les précautions qu'on peut choisir de prendre pour les assemblages soudés si le futur emploi des pièces soudées le nécessite.

Par ailleurs, on constate qu'un cordon sur bords rabattus nécessite une intensité de soudage inférieure à un cordon en angle intérieur, ce qui déforme moins les tôles.

(Croquis B 16 à B 19).

8

DECAPAGE

Le laminage, le forgeage, le chaudronnage, les trempes, les recuits, les soudages, peuvent oxyder la surface de l'inox. Il faut éliminer ces traces notamment de calamine qui oxyderaient le métal jusqu'à sa perforation. Il existe plusieurs techniques de décapage.

DEGRAISSAGE

Tout décapage doit être précédé d'un dégraissage soigneux. On utilise souvent du tétrachlorure de carbone, du trichloréthylène, du perchloréthylène, si possible en phase gazeuse.

Un bon rinçage élimine les traces de solvant et est suivi d'un soigneux séchage. On utilise aussi des lessives alcalines qu'on peut additionner de poudre abrasive fine. Un très soigneux rinçage doit alors être effectué :

DECAPAGE ACIDE DES INOX FERRITIQUES

On conseille de ne décaper que des inox correctement recuits. Le bain le plus souvent utilisé aura une température de 50 à 60°. Il comprendra de l'acide nitrique ; de l'acide fluorhydrique ou du fluorure de sodium, dilués dans de l'eau.

On peut aussi utiliser un bain extrêmement décapant, à température d'ébullition, contenant de la soude et du permanganate de potassium dans de l'eau..

Autre bain en solution dans de l'eau : de l'acide sulfurique et de l'acide chlorhydrique.

Après ces décapages, le métal est gris. On le « *blanchit* » par une passivation en milieu nitrique.

DECAPAGE ACIDE DES INOX AUSTENITIQUES

Pour les aciers austénitiques stabilisés au titane ou à très bas carbone, on utilise un bain d'acide nitrique et d'acide fluorhydrique dans de l'eau. Ce bain donne une belle couleur au métal, avec une perte d'épaisseur négligeable. Ce bain est porté à une température de 50 à 60°.

Pour les aciers austénitiques non stabilisés au titane ou à moyen carbone, on doit se méfier d'une corrosion intergranulaire dans un bain fluonitrique. Un décapage léger et peu prolongé est conseillé.

Il est d'ailleurs déconseillé de prolonger trop un décapage, sauf si le bain est à température ambiante.

On peut aussi procéder à un décapage à la soude fondue. Un abondant rinçage à l'eau froide et un bain décapant acide suivent ce traitement.

DECAPAGE DES SOUDURES

Si on ne peut décaper l'ensemble d'une pièce, et c'est le cas des bateaux, par une immersion dans un bain, on procède par des décapages locaux avec des bains plus énergiques.

Un bain efficace sera composé d'acide chlorhydrique et d'acide nitrique dans de l'eau. Par exemple, 45 litres d'acide chlorhydrique ; 5 litres d'acide nitrique et 50 litres d'eau. Le bain est à température ambiante. On le passe au chiffon ou à la brosse.

Il existe des pâtes décapantes spécialement étudiées par le décapage des soudures d'une pièce en inox sur un support en acier ou en inox et ces pâtes doivent être utilisées à chaque fois qu'il y a eu soudure. Qu'il s'agisse d'une zone de la coque ou du pont, de la fixation d'accastillage ou du soudage de différents éléments d'un balcon par exemple.

Je pense au soudage des cadènes. Le non-décapage laisse une couleur sombre sur l'inox (calamine) qui précède sa corrosion.

Il faut ensuite procéder à un traitement de passivation.

Le polissage suivant le meulage d'une soudure peut suffire à décaper l'inox. On fera suivre le polissage d'une décontamination et d'une passivation.

Il est rare d'avoir à sabler ou grenailler l'inox. On peut avoir recours à ce procédé pour donner au métal un grain d'accrochage facilitant la tenue des peintures.

On utilise un sable fin. Le sablage sera suivi d'une décontamination et d'une passivation.

Décapage et décontamination sont deux termes employés pour une seule et même opération.

DECONTAMINATION, PASSIVATION

Le caractère « *inoxydable* » des inox, et leur résistance à la corrosion est en grande partie fonction de leur état de surface. Tous les travaux de finition doivent être soignés :

- rectification de l'état de surface
- meulage des soudures
- polissage
- décapage
- décontamination et passivation

Il convient de rappeler les idées directrices suivantes :

- La surface ne doit pas présenter des particules ferreuses. Ces particules ferreuses proviendraient de dépôts faits par des outils en fer ou acier ordinaire sur la surface de l'inox pendant qu'on le travaille.

Brosses, meules, abrasifs ayant été en contact avec de l'acier ordinaire ne doivent en aucun cas être utilisés pour travailler l'inox. On trouve aussi cette remarque importante dans le travail de l'aluminium. Un même chantier peut travailler l'alu., l'inox et l'acier dans un même local, mais il doit éviter d'utiliser les mêmes outils !

Un décapage à l'acide nitrique suffit en général à ôter ces particules ferreuses de la surface de l'inox.

- La résistance à la corrosion d'un inox est liée à la qualité de sa couche passivante.

Cette couche passivante est constituée par l'oxydation du chrome contenu dans les inox de construction navale dans une proportion de 17 à 18 %. 12 % est le minimum à partir duquel un acier est dit inoxydable.

Le traitement décontaminant à l'acide nitrique assure une passivation immédiate. Mais le poli de surface doit être suffisant, faute de quoi la stagnation de salissures dans les rayures produit une corrosion qui prend le poli à la pâte à polir jusqu'à un état dit « *poli brillant* ». Une coque pontée sera « *satinée* » avec soin.

DECONTAMINATION

Elle est assurée, pour éliminer diverses salissures dont le dépôt de particules ferreuses, par un « *lavage* » au bain d'acide nitrique pour 1/4 dans 3/4 d'eau. Ce bain peut être à température ambiante ou porté à 50 %.

La décontamination doit être suivie d'un abondant rinçage à l'eau douce.

Il existe des pâtes décapantes à base nitrique très efficaces et utiles.

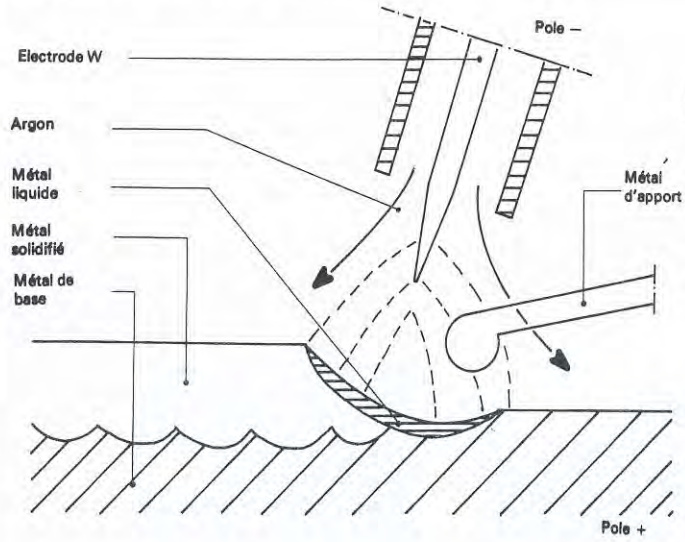
Le « *décapage* » et la « *décontamination* » sont un seul et même traitement appelé d'un terme ou de l'autre selon les ouvrages.

PASSIVATION

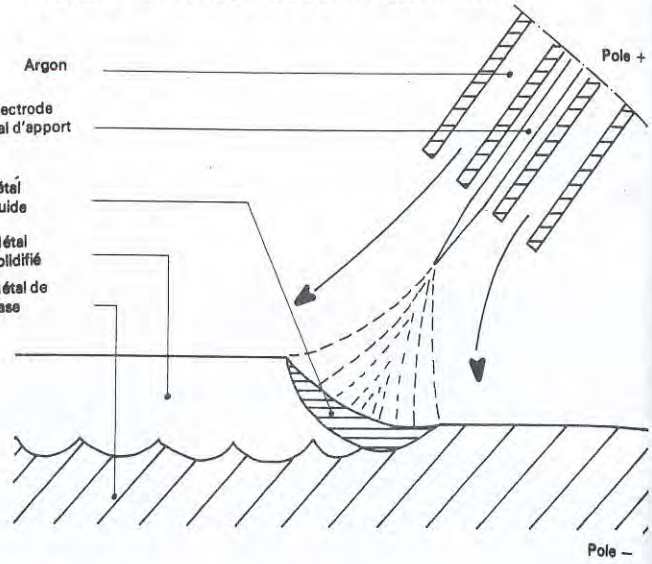
La passivation est l'oxydation du chrome contenu dans l'inox. Cette oxydation auto-protège l'inox. Elle est automatique par la seule exposition à l'air. Elle se produit à l'air en quelques heures. Elle est accélérée par la décontamination (décapage) à l'acide nitrique ou avec une pâte nitrique. Si bien que décontamination et décapage sont en fait la première phase de la passivation.

D'ailleurs, les pâtes nitriques sont appelées « *pâtes à décontaminer* » ou « *pâtes à décaper* » ou « *pâtes à passiver* ». Ce sont les mêmes !

Croquis B 14 : *Soudage de l'inox en procédé T.I.G.*



Croquis B 15 : *Soudage de l'inox en procédé M.I.G.*



J'en profite pour rappeler le caractère d'absolue nécessité de cette opération après un soudage d'inox ou sur inox. Je répète aussi que l'inox n'est dit actif qu'avant que son chrome se soit oxydé.

Cet état ne justifie pas qu'on désigne un inox actif par opposition à un inox passif. L'état actif ne dure que quelques heures. L'inox livré est donc forcément passif. Il s'est auto-passivé à l'air. Vous pouvez le réactiver en le soudant ou en mettant à nu sa surface par sablage, meulage, polissage.

Un bain ou une pâte nitrique passivent instantanément la surface de l'inox.

Une exemple de pâte pour décontaminer passiver et entretenir l'inox : lancée avec la contribution technique d'Ugine, la pâte « Dinox 10 » à base d'acide phosphorique se présente sous forme d'une matière consistante, bleutée. On l'applique sans frotter sur le métal souillé. On laisse agir 20 à 40 minutes, puis on rince très abondamment à l'eau sous pression. On utilise une brosse souple, ne présentant aucun danger de rayures. La consommation sera de l'ordre de 180 grammes par m². Cette pâte enlève les taches de rouille faites par dépôt ou projection d'un objet rouillé, mais aussi les oxydations superficielles, après soudage par exemple. Elle est fabriquée par la Société Protime, à Boulogne-Billancourt *(croquis B 20 à B 22)*.

Nous rappelons aux associations, écoles d'enseignement, entreprises etc., que la reproduction, même partielle, du texte et des documents des Hors Série et des mensuels est strictement interdite pour tous pays (photocopies comprises).

9

ENTRETIEN DE LA SURFACE D'UN ACIER INOXYDABLE

L'entretien de l'inox est une opération aisée et peu coûteuse. Il se limite à un nettoyage périodique. Mais il est nécessaire, comme d'ailleurs le maintien en état de propreté est tout aussi nécessaire pour conserver en bonne santé les peintures des aciers ordinaires, l'aluminium, le polyester, le contre-plaqué, et les bois !

PRODUITS DE NETTOYAGE

● **Lessives** : l'entretien périodique de la surface de l'inox peut fort bien se faire avec les lessives habituelles des lave-vaisselle et les lessives plus globalement utilisées pour laver la vaisselle. Un rinçage à grande eau doit suivre le lessivage.

● **Poudres à récurer** : lorsque les salissures sont trop tenaces pour que le simple lessivage suffise à les enlever, on peut utiliser des poudres à récurer, les plus fines possibles, légèrement abrasives. Ces poudres sont au blanc d'Espagne, au ponce ou à l'alumine.

Si la poudre n'est pas assez fine, on risque de rayer la surface de l'inox. Ces poudres doivent absolument être dépourvues d'oxydes de fer. Un abondant rinçage à l'eau douce suit le lessivage.

● **Solvants** : des traces de colle peuvent subsister sur l'inox, ainsi que des traces de produits gras et de peintures. Il faut les enlever en employant un solvant en rapport avec leur nature. On peut utiliser du white-spirit, benzène, trichlore, etc. Attention à leur inflammabilité et à leur toxicité ! Un lessivage et un rinçage suivent le nettoyage au solvant.

● **Acides, bases** : certaines traces et salissures spécialement tenaces doivent parfois être ôtées avec un bain acide ou une base. Il existe des produits tout préparés dans le commerce, à base d'acide qui conviennent parfaitement au nettoyage de l'inox. Un lessivage précède le nettoyage à l'acide pour éviter toute présence de poussières. Il faut limiter le temps d'application d'un tel produit et abondamment rincer après ce nettoyage. Ce rinçage est capital.

Il existe aussi des polishes pour surfaces métalliques et surfaces d'inox parfaits pour redonner à l'inox son aspect brillant et propre. La couleur naturelle de l'inox est un blanc argent plus ou moins brillant selon son polissage. Petit à petit, une fine pellicule de couleur brune, dorée, recouvre l'inox qui doit alors être passé au polish.

Le nettoyage est en général fait au chiffon, à la brosse douce ou à l'éponge douce.

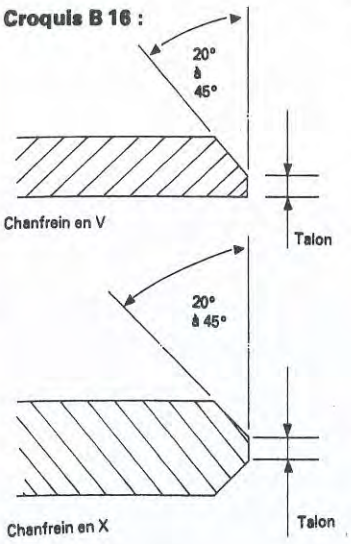
Le rinçage doit dans tous les cas être abondant et à l'eau douce.

PÉRIODICITÉ

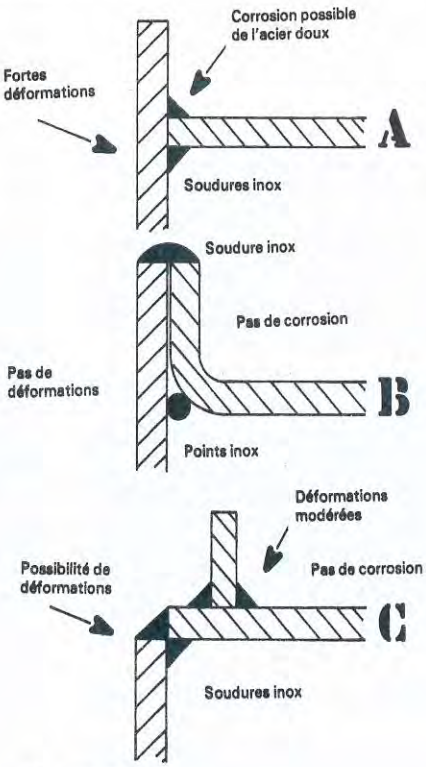
Dans la mesure où le lessivage n'est pas difficile, il ne faut pas craindre de nettoyer de cette façon le pont du bateau à peu près une fois par mois. On se basera sur l'observation du changement de couleur de la surface de l'inox. S'il se ternit, on le lessivera. Un nettoyage plus important, sur la coque et non sur le pont que les pluies *« lessivent »* plus régulièrement, sera périodiquement fait au polish dès que les reflets dorés apparaissent. La coque peut être lessivée pour ôter les traces de salissures au niveau de la flottaison et passée au polish pour restaurer la couleur initiale.

Le pont reçoit plus de salissures peu collantes mais éventuellement agressives : poussières qui rayent le

Croquis B 16 :

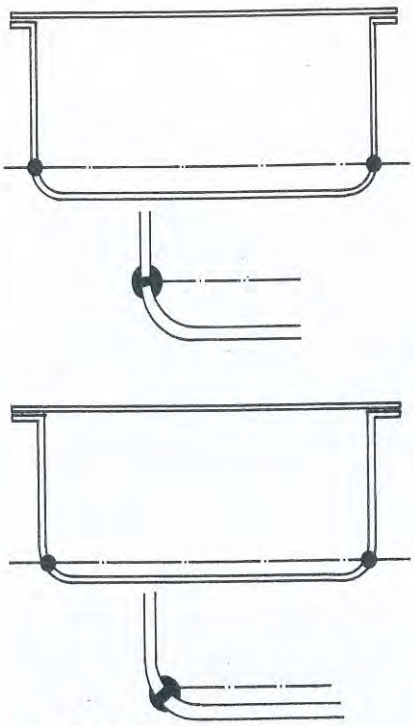


Croquis B 17 : *Pont inox sur coque acier doux.*

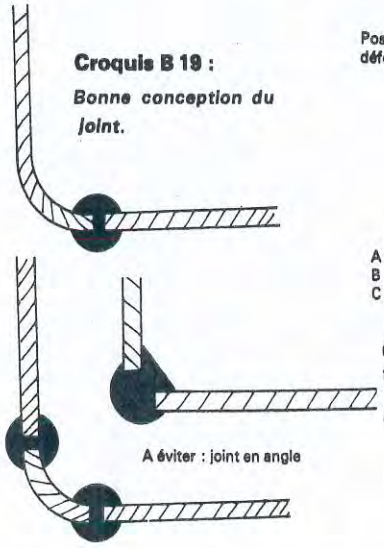


A : pavois classique.
B : procédé Brument.
C : pavois rapporté, en inox.

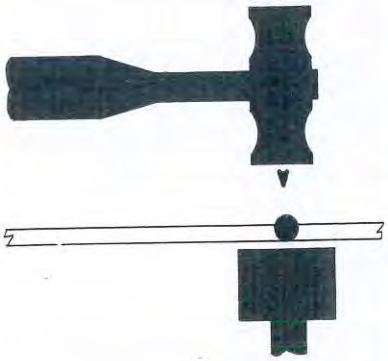
Croquis B 18 : *Conception du fond d'un réservoir d'eau ou de fuel en inox. Eviter la soudure en angle.*



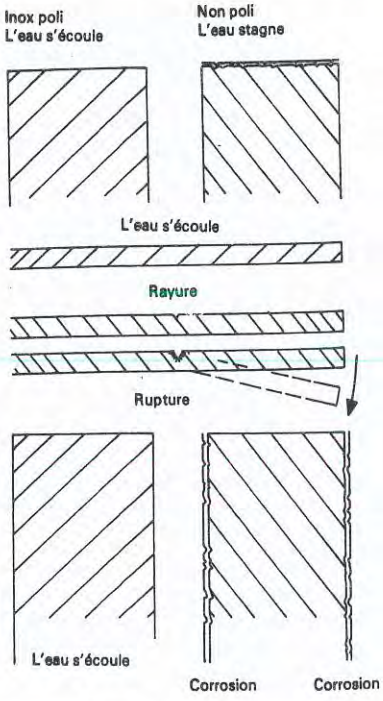
Croquis B 19 :
Bonne conception du joint.



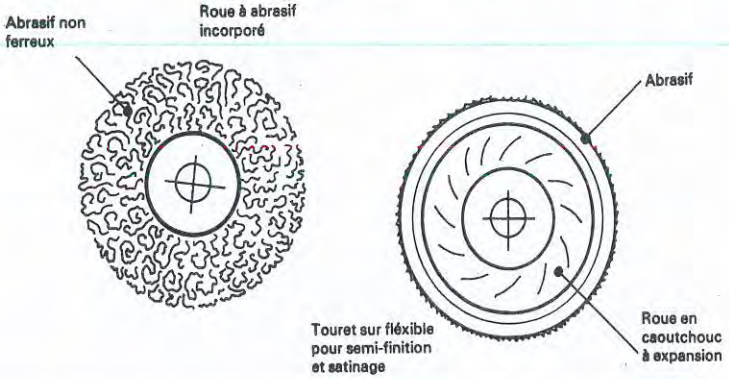
Croquis B 20 : *Sous-planage et planage par frappe en « porte à plein », au tas.*
Le planage par frappe écrouit le métal faisant disparaître l'effet du recuit de soudage.



Croquis B 21 : *L'inox acier doit être peint ou poli ;*
– une rayure est une amorce de corrosion et, à terme, de rupture,
– inox rayé : le fer s'oxyde avant le chrome : corrosion,
– inox passivé et poli : le chrome protège l'inox.



Croquis B 22 :



Croquis B 23 : *Visserie inox Ugivis-Ugine.*

vis à métaux — formes des têtes	TF DIN 963 E 27113		TFB DIN 964 E 27113		TC DIN 84 E 27115		TCL DIN 85 E 27116		TRL AFNOR E 27128	
∅	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h
2	3,8	1,2	3,8	1,2	3,8	1,3				
2,5	4,7	1,5	4,7	1,5	4,5	1,6				
3	5,6	1,65	5,6	1,65	5,5	2	6	1,8		
4	7,5	2,2	7,5	2,2	7	2,6	8	2,4	10	2,2
5	9,2	2,5	9,2	2,5	8,5	3,3	10	3	12,5	2,7
6	11	3	11	3	10	3,9	12	3,6	15	3,3
8	14,5	4	14,5	4	13	5	16	4,8	20	4,4
10	18	5	18	5	16	6	20	6	25	5,5
12	22	6								

vis à bois — formes des têtes	TFB DIN 95 E 27143		TR DIN 96 E 27141		TF DIN 97 E 27142	
∅	D	h	D	h	D	h
2,4	4,8	1,2	4,8	1,7	4,8	1,2
3	6	1,5	6	2,10	6	1,5
3,5	7	1,75	7	2,4	7	1,75
4	8	2	8	2,8	8	2
5	10	2,5	10	3,5	10	2,5
6	12	3	12	4,2	12	3

métal, produits corrosifs venant des installations portuaires et des villes. Des lavages à l'eau de mer les enlèvent souvent. Cette action est complétée par les pluies. Un lessivage de temps en temps ramène un bon état de propreté.

A l'intérieur, il faut de temps à autre lessiver et rincer les fonds. L'eau est pompée dans un point bas de la coque ou dans le puisard de la quille.

La coque est plus soumise à l'action détériorante des chlorures de l'eau de mer. Les composés ferreux de l'inox donnent au métal la coloration dorée qui signifie qu'ils « *rouillent* ». Les lessivages et lavages à l'eau douce éliminent les traces de chlorures. Un nettoyage au polish ôte les traces dorées de la coque sans autre nécessité d'action plus spécifique.

Ne jamais utiliser de brosses métalliques ni de tampons de laine d'acier ou de cuivre, pas plus que des éponges métalliques !

10

LA PEINTURE OU LE COLLAGE D'UN REVETEMENT SUR L'INOX

COLLAGE D'UN REVETEMENT DE PONT

Le collage d'un revêtement antidérapant sur un pont en acier, inoxydable n'appelle qu'une remarque, mais de taille. Pour le reste, il est conforme à ce qui est dit pour le pont en acier doux. Les plaques ne doivent pas être jointives ; leurs angles doivent être arrondis ; le matelas de colle doit être épais environ deux millimètres, uniforme jusqu'aux bords de chaque plaque. La colle doit baver tout autour de la plaque lorsqu'on l'applique en la « *déroulant* ». On charge légèrement chaque plaque et on évite d'y poser le pied pendant 24 heures.

Une remarque importante s'attache à la dureté de surface de l'acier inoxydable. On l'a vu ailleurs dans cet ouvrage, l'acier doux pour être peint doit être sablé. On a vu aussi que l'acier inoxydable est lisse en surface et doit conserver cet aspect poli pour ne pas s'oxyder par rétention d'eau de mer et de salissures dans les stries des éraflures. Aussi polit-on la surface de l'inox soit au stade « *poli* », « *poli brillant* », ou « *satiné* ». C'est, en général, ce stade plus facile à atteindre qui est recherché sur les bateaux. On y arrive avec du papier abrasif sur des tourets rotatifs. Mais les collages sur l'acier inoxydable lisse perdent la moitié de leur pouvoir adhérent.

Aussi est-on absolument obligé d'agir selon la méthode suivante :

● On détermine avec précision la localisation et le pourtour de chaque plaque de revêtement antidérapant.

● On dépolit ou on sable les surfaces de collage des plaques. Pour cela, on peut utiliser du papier abrasif à gros grain ou une buse de sablage assez fine qui permet avec un sable adapté de dépolir avec une précision suffisante les surfaces sans déborder les lignes de contour. Car une zone dépolie a toute chance de s'oxyder.

● On polit ou satine les zones entre les plaques. Ces bandes mesurent de 2 à 10 cm. Pas trop étroites pour l'esthétique, pas trop larges pour que le pied n'y glisse pas. On va utiliser pour ces surfaces étroites soit des tourets de bandes abrasives coupées à 2 ou 3 cm de large, soit de l'abrasif fin puis très fin passé à la main.

Le plus long à traiter sera l'hiloire de roof et le cockpit qui doivent être polis ou satinés.

L'ensemble est dégraissé soigneusement.

Sur les zones sablées ou dépolies, on étale la colle le plus tôt possible après l'opération mécanique donnant sa micro-géométrie au métal. Autant éviter la formation de l'oxydation du chrome, certes très adhésive elle-même. De même pour la peinture.

En définitive, aucune zone du pont ne restera telle quelle. Les zones soudées ou travaillées énergiquement (pliage écrouissant le métal) seront passivées et décontaminées.

Les zones de collages sont dépolies. Les autres zones, qui ne seront pas peintes et vont rester nues, sont polies ou satinées. Dans le cas où le pont est peint, il faut procéder comme expliqué ci-après.

PEINTURE DE L'INOX

A part l'action mécanique de départ et le primer d'accrochage, l'ensemble de la gamme peinte est identique pour l'acier inoxydable et pour l'acier doux.

Ainsi que je l'ai dit au chapitre précédent, il faut d'abord déterminer les zones du pont ou de la coque qui seront peintes et celles qui vont rester nues. En général, l'intérieur reste nu. On peut aussi laisser une grande partie de la muraille nue. Le pont pourra être peint si on n'y colle pas un revêtement antidérapant et, toujours, la carène sera peinte d'un antifouling.

Les zones non peintes sont polies ou satinées avec un touret fait de bandes « *rayonnantes* » de papier abrasif. Ne pas se servir d'une meule ou d'un disque sauf muni d'une peau de mouton pour la finition. Le touret tourne dans un plan perpendiculaire au bordé. Son axe est parallèle au bordé. Il « *caresse* » le bordé avec son épaisseur. Alors qu'un disque a son axe perpendiculaire au métal, tourne parallèlement au bordé et le « *caresse* » avec sa face intérieure.

Par contre, les zones peintes sont sablées pour créer une surface présentant un grain ou une micro-géométrie d'accrochage.

On applique sur l'inox dégraissé et dépoli un primer spécial pour aciers inoxydables puis une impression complétant son action. L'acier ainsi dépoli est redevenu voisin de l'acier doux et doit être protégé ! Le fournisseur déterminera le meilleur produit convenant à la nuance d'acier inoxydable choisie et surtout, aux conditions climatiques. Puis le bordé est revêtu de ses peintures de finition comme un bordé classique en acier doux.

On aura simplement à passer bien moins de couches, l'épaisseur d'une centaine de microns de protection (deux fois 40, par exemple), et de 120 microns de finition paraissant largement suffisante alors qu'on pousse à 160 voire 200 microns pour l'acier doux.

Et on économise la peinture de l'intérieur qui est égal à 130 % environ de la surface extérieure du fait de la structure.

Retenons qu'on dépolit ou sable les zones peintes ou revêtues et qu'on polit ou satine les zones laissées nues. L'ensemble étant dégraissé avant le traitement mécanique qui ne vise pas à ôter des traces d'oxydation, comme pour l'acier doux, mais est juste appliqué de façon suffisante pour favoriser l'accrochage de la colle ou des peintures.

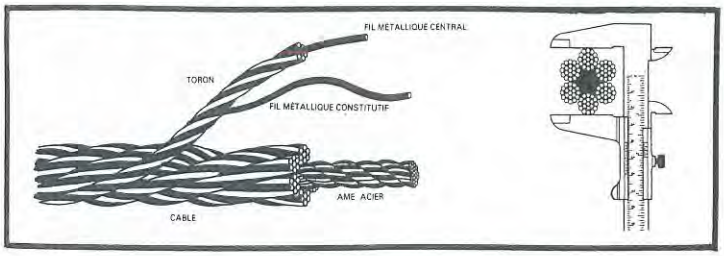
Voyez le chapitre sur le *collage des métaux entre eux* pour comprendre l'apport de cette micro-géométrie.

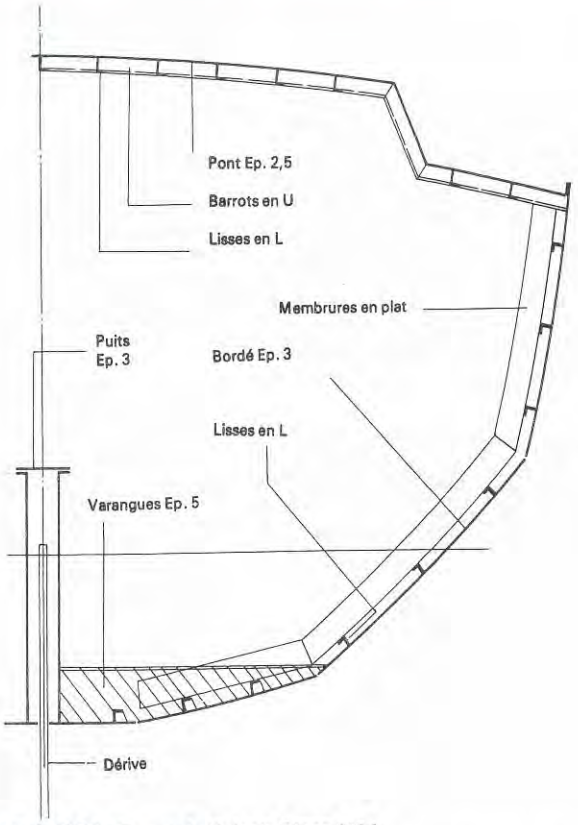
11

VISSERIE, CONSTRUCTION NAVALE ET CORROSION

Sur le pont, sous l'eau et dans le bateau, on rencontre un grand nombre d'assemblages vissés et boulonnés. Tant dans un bateau en acier qu'en aluminium. A l'extérieur, l'inox est roi. A l'intérieur, aussi lorsqu'on touche au matériau de base de la coque ou du pont. Mais on peut alors utiliser une nuance moins « riche ». Et lorsqu'on assemble bois sur bois, on peut économiser en optant pour de la visserie en laiton lorsque ses caractéristiques mécaniques très inférieures à celles des aciers ne met pas la solidité de l'ensemble en cause. Ce qui sera rarement le cas puisque, en général, les aménagement ne sont pas « porteurs ». Deux mots d'abord de la fabrication de la visserie.

Croquis B 24 : *Câble de haubannage en acier inoxydable (dessin M.A.C.).*





Croquis B 26 : *Coupe de Vulcain 5 inox 316 L.*

PROCEDES DE FABRICATION

La visserie, au sens large du terme, est en général fabriquée :

- par décolletage dans la masse,
- par frappe à froid,
- par un matriçage à chaud complété par un usinage.

Récemment, on a assisté à un développement de la frappe à froid pour les têtes de vis, mais aussi pour des formes plus difficiles.

Dans l'ensemble des vis, goujons, écrous, tiges filetées, sont obtenus à partir de fil présenté en couronnes. Un « *lopin* », segment de ce fil est découpé puis façonné par frappe à froid à l'aide de matrices et de poinçons. Le filetage provient du roulage entre des peignes plats. Des machines combinées opèrent ces différentes fonctions. On forme ainsi du fil jusqu'à 36 mm de diamètre.

LES MATERIAUX

Pour la construction navale, je ne parlerai ici que des aciers inoxydables.

Les aciers austénitiques du type 18 × 8 à 18 % de chrome et 8 % de nickel et leurs dérivés, ont des caractéristiques que ne peuvent améliorer des traitements thermiques. L'architecte doit tenir compte de leur limite élastique dans ses calculs.

Certaines particularités sont à noter pour la visserie en inox.

La dureté du métal est telle qu'il faut souvent prévoir une rondelle de répartition de la pression ou utiliser une clef dynamométrique pour le serrage.

Les aciers austénitiques ont tendance à gripper sous l'effet du frottement. Ils se soudent par la pression si celle-ci est trop grande. Leur forme est parfaite, le filetage très précis et solide. Le jeu est déterminé et le positionnement parfait. Il faut éviter la torsion des tiges qui mène au matage des angles.

CORROSION DES ASSEMBLAGES

Les risques de corrosion des assemblages boulonnés ne sont pas négligeables. Voyez le chapitre général sur la corrosion.

La corrosion affecte les caractéristiques mécaniques de l'assemblage complet. La présence de l'eau de mer doit rendre prudent.

Il peut déjà y avoir eu une corrosion sur la vis elle-même pendant le stockage si des salissures se sont collées avec de l'humidité sous elles, des traces de corrosion peuvent se développer qui affectent la solidité ou la régularité du filetage.

Lors d'assemblages homogènes de deux pièces du même métal, il faut surtout veiller à un parfait contact entre les surfaces pour que la corrosion par aération différentielle ne se développe pas entre elles.

Deux pièces d'acier assemblées doivent être parfaitement peintes avant d'être serrées. La vis peut ne pas être isolée des pièces si elles sont peintes. Des rondelles doivent protéger la surface du côté du serrage.

Des vis en acier inoxydable peuvent assembler deux pièces d'aluminium même immergées. En effet, la corrosion galvanique est fonction du rapport des masses des métaux en présence. Or, dans ce cas, la masse du métal le plus noble (inox) est très faible par rapport à celle du métal le moins noble (alu), qui de ce fait ne se corrode pas.

Les anodes de type pendanodes suspendues au bateau en alu suffiront à sa protection. Encore moins de problème sur le pont ou dans la mâture et lorsque l'aluminium est peint ou anodisé.

Lorsque deux pièces d'aluminium non peintes seront assemblées sur le pont ou sous la flottaison, un joint étanche sérieux sera interposé entre la vis et l'aluminium. Un joint du type **Rubson** ou **Sika**, bien infiltré dans les filets et de chaque côté, et des rondelles en alliage léger ou en matériau synthétique seront une bonne protection. Sur le pont la couche d'aluminium sera en général une protection suffisante. Un lavage régulier à l'eau claire sera pourtant une précaution ; je pense à la fixation des winches par exemple, ou du guindeau.

Les aciers galvanisés se comportent bien à condition que la couche de zinc n'ait pas été entamée !

Pas de corrosion avec les bois secs ou le polyester. Par contre, si l'humidité s'est mise dans le bois, une dépassivation de l'inox est à craindre par l'acidité, et la corrosion suit.

En construction navale, et plus spécialement pour les bateaux qui partent vers les eaux et les climats chauds, il faut opter absolument pour les montages les plus isolés et les nuances d'inox les plus nobles. Dans son rapport sur la corrosion de la visserie en construction navale, M. Grand conseille les inox du type 18 % de chrome, 8 % de nickel et 2 % de molybdène.

On va les rencontrer sous les noms de 18 × 12 Mo, avec les normes AFNOR de Z6 CNF, Z2 CND, Z8 CND voire, avec du .itane, Z8 CNDT. Ceci pour l'extérieur. Pour l'intérieur du bateau, j'ai souvent utilisé du 18 × 10 sans problème. Sur le pont aussi, mais je noyais la tête de la vis sous du joint étanche de type Rubson.

Voici les caractéristiques données par CEFILAC - UGIVIS (Ugine)

ACIERS INOXYDABLES AUSTENITIQUES

Nuance		Analyse				R kg/mm²	E kg/mm²	A	Etat
AFNOR	UGINE	C	CR	Ni	Mo				
Z6 CND	NSM 21	≤ 0,07	17	11	≥ 2	65	20	50	3
Z2 CND	NSM 21S	≤ 0,03	17	11	≥ 2	60	18	50	3
Z8 CND	NSM 22S	≤ 0,03	17,5	12	≥ 2,5	60	18	50	2
Z8 CNDT	NS MC	≤ 0,08	17	11,5	≥ 2	60	20	45	3 (titane)

Boulonnerie à froid

Caract.	18 x 10	18 x 12 Mo
R K/mm²	50 à 60	55 à 70
E K/mm²	> 20	> 20
A %	> 50 %	> 40 %

Tiges filetées

Caract.	18 x 10	18 x 12 Mo
R	75	75
E	40	40

TERMINOLOGIE

VM.TH.EF : corps de boulon ou vis à tête hexagonale filetée jusqu'à la tête.

VM.TH.PF : corps de boulon ou vis à tête hexagonale (6 pans) dont le filetage s'arrête avant la tête.

VM.TF : vis à métaux (VM) à tête fraisée fendue.

VM.TFB : vis à tête fraisée bombée fendue.

VM.TC : vis à tête cylindrique fendue.

VB.TFB : vis à bois à tête bombée fendue.

VB.TR : vis à bois à tête ronde fraisée.

VB.TF : tête fraisée fendue.

VM.TCL : vis à tête cylindrique bombée fendue.

VM.TRL : vis à tête cylindrique bombée fendue, large.

On trouve aussi :

Les rondelles M, L, Z selon la largeur AFNOR E.27611.

Les rondelles ressort simple, lisse (Grower). DIN 127.

Les rondelles à dents chevauchantes extérieures (DIN.6798.A) ou intérieures (DIN.6798.J), ainsi que les *« cuvettes »* dites rondelles cuvettes de norme AFNOR E.27619.

Les vis d'usage courant pour fixer l'accastillage sont de type VM TF ou TFB. Pour les fixations fortes, on utilise les vis VM TH EF ou PF, fixation du moteur par exemple.

Pour serrer les vitrages fixes, on utilisera les vis VM TC ou mieux encore les vis VM TRL qui répartissent mieux la pression.

Pour les serrages peu accessibles, sur le mât, par exemple, on utilisera des rondelles indesserrables de type Grower ou à dents chevauchantes extérieures DIN 127 E et DIN 6798.A. Pour *« habiller »* les vis à bois fixant les vaigrages, le contreplaqué de roof, on se servira de rondelles cuvettes.

A chaque fois en respectant les diamètres préconisés par le fournisseur, l'architecte ou le constructeur *(croquis B 23 et B 24).*

12

« UGINOX FLUCTUAT » : L'INOX ET LA CONSTRUCTION NAVALE

DES BATEAUX

Le premier bateau en inox a été mis en chantier en 1960 par *Marcel Bardiaux*, célèbre circumnavigateur aux pérégrinations aussi réelles qu'invraisemblables ! La coque en formes d'Inox (c'est son nom), ainsi que les mâts sont en inox.

En 1970, seconde expérience avec « Onyx » qui participe à la Transat de 1972. Il participe de nouveau à la *Transat 1976* sous le nom de « Pronuptia ». En 1972, le bateau était barré par *Eugène Riguidel*.

En 1973, les Etablissements *Brument* construisent le troisième bateau en inox. Il s'agit d'un ketch à bouchains bananés dessiné par *M. Davis*. Ce bateau marque un tournant dans la construction inox car si ses formes étaient discutables, l'ensemble de la profession reconnaît unanimement la perfection du travail et la valeur de l'inox. Les Ets Brument ont depuis cette époque construit plusieurs Vulcain 5 (10,20 m) en inox. Des essais remarquables ont été faits par Ugine et par *Brument* pour déterminer les meilleurs compromis qualité-prix. On trouve en effet des constructions coque et pont en 316 ; coque en 316 et pont en 304 L voire 304 ; coque en acier ordinaire et pont en 316, 304 L ou 304.

Tous ces cas de figures étant fiables et présentant divers degrés d'intérêt et de coût. Le plus cher étant coque et pont en 316. Un bon compromis étant coque acier et pont en 304 L. Le bateau ne coûte alors pas beaucoup plus cher qu'un bateau tout acier et présente un pont absolument fiable sur les points de la solidité, de la non oxydabilité et sans effet galvanique entre la coque et le pont, puisque d'une part la différence de potentiels entre l'acier et l'inox n'y est pas assez grande, et surtout la condition nécessaire à la formation d'une pile n'est pas remplie, à savoir l'immersion dans un électrolyte.

Voyez ci-après une liste de bateaux ayant utilisé l'inox dans leur fabrication, étant bien considéré que tous les bateaux de plaisance l'utilisent à titre divers pour leurs structures, cadènes, balcons, chandeliers, haubans, visserie, pouliage, mécanique, outre Vulcain 5 :

Inox *Constructions Mécaniques de Normandie*. Ketch à coque en formes

Longueur : 15 mètres ; largeur : 4 mètres ; déplacement : 22 tonnes ; nuance : NSCD ; épaisseurs : coque 5 mm, quille 6 et 8 mm, fonds 15 mm; mâts (12 m et 13,60 m), bômes et tangons sont en inox.

Onyx Chantier *Llorente*, architecte *Auzepy-Brenneur*

Sloop à coque en formes. Longueur : 13,07 m ; largeur : 3,60 m, déplacement : 8 tonnes ; nuance : NSM 21 S ; épaisseurs : coque : 3 mm, quille : 5 mm.

Vulcain 2 Architecte *Davis*, chantier *Brument*

Ketch à coque à bouchains bananés, longueur : 14,20 m ; largeur : 4,20 m ; déplacement : 15 tonnes ; nuance : membrures en NS 22 S ; coque et pont en NS M 21 S, épaisseurs : coque et quille 3,5 mm, semelle de quille : 15 mm ; mâts, bômes et tangons sont en NS M 21 S.

Prototype E.T.A.

Longueur 10 mètres.

Cette entreprise, E.T.A. spécialisée dans la fabrication de matériel de laiterie a réalisé cette coque en formes par hydroformage, procédé par compression hydraulique sur matrice. Les tôles ont ainsi été préformées puis amenées à leur galbe définitif sur place.

Ce bateau a été poli au stade de *« poli brillant »* et ne nécessite pas d'être peint.

Trisinox 43 Sté *Limousin* architecte B.D.S.

Longueur : 13,35 m ; largeur : 4,20 m, déplacement : 12 tonnes ; dériveur intégral. Coque à double bouchain. Nuance 316 L, Z 2 CND 18 × 12.

Gémini Chantier *Pierre Guérin* architecte *Harlé*.

Longueur : 12 m ; largeur : 3,86 m ; déplacement : 13,8 tonnes. Ketch à double bouchain. Nuance : 316 L, Z 2 CND 17 × 12.

Pégase Constructeur *Les Coffrages modernes.*

38' soudé sous argon ; nuance : 316 TI ; norme NF 28 CNDT 18 ; largeur : 3,60 ; déplacement : 5,5 tonnes. Sloop, cotre ou ketch à double bouchain quillard ou dériveur intégral à fond plat. Nuance : coque en acier ordinaire ou inox 316. Pont en acier ordinaire ou inox 304 ; ou inox 316.

A noter aussi la construction au chantier *Méta* de coques en acier coiffées d'un pont en F.12. T acier inoxydable ferritique stabilisé au titane.

Albion construit en 316 TI par M. *Délimard*. Architecte *Caroff*.

Longueur : 10,45 m ; largeur : 3,70 m ; déplacement : 7 tonnes. Cotre à double bouchain.

On notera aussi la construction de nombreux *Ile Disko, Exploration* et *Chatam*, en France et au Canada avec coque et pont inox 316, coque acier ou inox 316 et pont en inox 304, voire 409 à condition qu'il soit peint.

ESPARS

La construction de mâts, bômes et tangons en inox ne pose pas de problème. Ils sont réalisés en feuilles d'inox roulées et assemblées. Puisqu'on ne trouve pas dans le cas de profilés filés, donc de section constante, on dote les mâts en inox d'un profil évolutif selon les contraintes qu'on note aux différentes hauteurs et les renforts qu'on doit placer localement. De tels mâts ont un centre de gravité placé plus bas que sur un mât en aluminium non rétreint, mais sont un peu plus lourds.

La limite élastique de l'inox est supérieure à celle de l'aluminium. Là où un mât en alu casse, un mât en inox plierait.

Ce n'est pas une solution à rejeter pour la croisière lointaine. Le choix entre l'inox et l'alu., pour la fabrication d'un mât n'étant alors qu'une question de coût.

BALCONS ET CHANDELIERS

Balcons et chandeliers, mais aussi les autres pièces de pont telles que cadènes, bittes d'amarrage, daviers, mains-courantes, etc, ne trempent pas dans l'eau de mer de façon permanente même s'ils sont parfois aspergés par une vague ou s'ils sont exposés au brouillard et atmosphère salins. Ils peuvent être fabriqués en 304 L ou 304, c'est-à-dire dans une nuance inférieure au 316 souvent recommandé.

En règle générale, ce qui est immergé devra être en 316 ou 316 L. Ce qui est au-dessus de l'eau peut être en 304 ou 304 L.

Ces aciers inoxydables sont austénitiques. On peut aussi faire un pont ou de l'équipement de pont en 409 ou F 12 T, acier inoxydable ferritique soudable car stabilisé au titane (T), mais qui alors devra impérativement être peint. L'accastillage en 304 ou 304 L doit être bien poli brillant.

PRODUITS ET FORMATS

Selon qu'on considère le cas d'un chantier qui va commander 50 tonnes d'acier inoxydable ou d'un artisan qui va en commander 5 tonnes, il est évident que les prix et les possibilités de choix sont variés.

En règle générale, disons qu'on peut se procurer des méplats (plats), L, T, U, ronds et barres pleines, tubes, dans les nuances usuelles.

Les formats de tôles courants sont 1.000 × 2.000 ; 1.250 × 2.500 ; 1.500 × 3.000.

Des formats sur fabrication sont consentis pour des commandes de 5 tonnes par nuance et par format.

NUANCES ET PEINTURE

Les nuances courantes ont été décrites ci-avant et plus haut dans ce chapitre sur l'inox.

On pourrait fabriquer des ponts de bateaux dans des nuances basses d'acier inoxydable. Il faudrait alors les peindre très soigneusement tout comme l'acier. L'avantage serait que leur corrosion ne donnerait pas cet aspect, *« sale »* des coulées de rouille de l'acier ordinaire. Mais l'inconvénient serait la corrosion perforante, tandis que la corrosion de l'acier doux est peu pénétrante.

Par ailleurs, les caractéristiques mécaniques de l'inox permettent d'abaisser les épaisseurs donc le poids par rapport à l'acier doux. Ce faisant, on s'expose à devoir souder avec plus de précautions, car les déformations sont plus importantes avec l'inox qu'avec l'acier doux. Caractère accru par la diminution d'épaisseur.

En outre, la dureté de surface de l'inox rend le sablage plus difficile. Or, il est impossible de bien peindre un inox tel quel, son état de surface étant trop lisse. Il faut assurer l'accrochage des peintures par un grain (micro-géométrie) de surface. Sabler l'inox nécessitera plus de puissance de projection du sable et un sable plus fin qu'avec l'acier doux.

On peut déterminer les généralités suivantes :

- le pont ne sera pas peint,
- on dépolira des zones sur lesquelles seront collées des plaques de matériau antidérapant en liège aggloméré,
- si le pont est en nuance d'inox peu chargé (12 T et 17 T), il sera peint comme un pont en acier doux et devra alors être sablé entièrement. Même remarque pour le 304 et 304 L,
- l'intérieur du bateau ne sera pas du tout peint,
- l'extérieur et au-dessus de la flottaison pourra être décoré de lignes affinant l'esthétique. Ces zones seront dépolies soigneusement à l'abrasif (sans composé ferreux),
- au-dessus de la flottaison, il faudra satiner l'inox et l'entretenir par des lessivages et nettoyages au polish. Ce polissage « satiné » sera une garantie de santé. On peut aussi désirer pousser le polissage jusqu'au « brillant », mais ce travail n'est ni nécessaire, ni amusant,
- sous la flottaison, il faudra peindre l'antifouling. Cet antifouling monte à 15 cm environ au-dessus du niveau de la flottaison en charge. Il faudra donc dépolir soigneusement l'inox sans le rayer anarchiquement et le peindre comme une coque en acier.

La peinture de l'inox réclamera des conseils de la part des services très compétents d'Ugine-Gueugnon.

ACIER, INOX ET CONSTRUCTION MIXTE, LES COUTS

Une coque pontée en acier doux, chacun connaît, ou croit connaître. Le matériau est destiné à la croisière, il est solide. Mais il rouille. Cette corrosion n'est pas dangereuse, mais elle est *« sale »* ! une coque pontée en inox on connaît moins. C'est moins fréquent. Si elle est bien construite, elle durera très longtemps, car elle ne redoute pas les mauvais voisinages. Elle est peu sensible aux effets électrolytiques et la corrosion ne peut venir que d'une erreur de construction, d'un mauvais soudage ou d'un défaut d'entretien. Lequel est très simple ! Une construction mixte ?

Ça, on le connaît moins ! Pourtant à n'en pas douter, c'est une solution d'avenir. Je développe cette idée dans les chapitres sur les solutions que demain nous prépare. Peu d'entretien pour le pont où se fait l'usure la plus abondante. Une coque solide là dessous et une peinture qui sera beaucoup moins sollicitée qu'on ne le pense. Une bonne option pour peu, bien entendu, que le constructeur connaisse bien le sujet. Il est clair pour les fabricants d'inox qu'un mauvais usage d'un bon matériau peut être catastrophique à long terme pour l'avenir de ce matériau. Les producteurs d'aluminium le ressentent aujourd'hui avec acuité.

Un chantier expérimenté sera le seul atout à la disposition du propriétaire pour que le matériau de sa coque ou de son pont ne soit pas trahi.

Fiable et *« à vie »*, s'il est bien mis en œuvre, l'inox sera le matériau de peu de saisons si la transformation a été le fait d'un constructeur plus avide d'argent que soucieux de qualité.

VALEURS A TITRE INDICATIF POUR 1983		
Matériau	Valeur de la coque pontée en F.F.	Budget global d'une finition amateur, voiles, mât et moteur inclus sur la base d'un achat de coque pontée
Coque acier doux Pont acier doux	75.000	Env. 200.000
Coque inox 316 Pont inox 304	160.000	Env. 280.000
Coque aluminium Pont aluminium A. G4 MC	130.000	Env. 250.000
Coque acier doux Pont inox 304	85.000	Env. 210.000

Valeurs correspondant à une construction de 10 m environ faite avec les méthodes les plus modernes du moment abaissant à leur minimum les heures de travail. A actualiser selon inflation.

J'ai calculé sur la base des tarifs du chantier *Brument* sur le Vulcain 5 (10,20 m), l'incidence du matériau sur le coût de construction d'une unité acquise en coque pontée.

L'INOX ET LA CONSTRUCTION ARTISANALE OU INDIVIDUELLE

● L'inox évitera d'avoir à peindre la totalité du bateau. C'est pourtant un matériau coûteux à l'achat au kilo. En gros, cinq fois le prix de l'acier doux.

● Compte tenu du prix au kilo et des économies sur le poids et sur la peinture que l'inox permet de réaliser, le prix de revient du bateau terminé sera le même, outillage inclus.

● Par contre, la rigueur du travail sera un handicap pour ceux qui ne sont pas au moins rompus au travail de l'acier.

● Le soudage sera plus difficile et les risques de déformations plus grands. Les risques de mauvaises soudures ne sont pas négligeables.

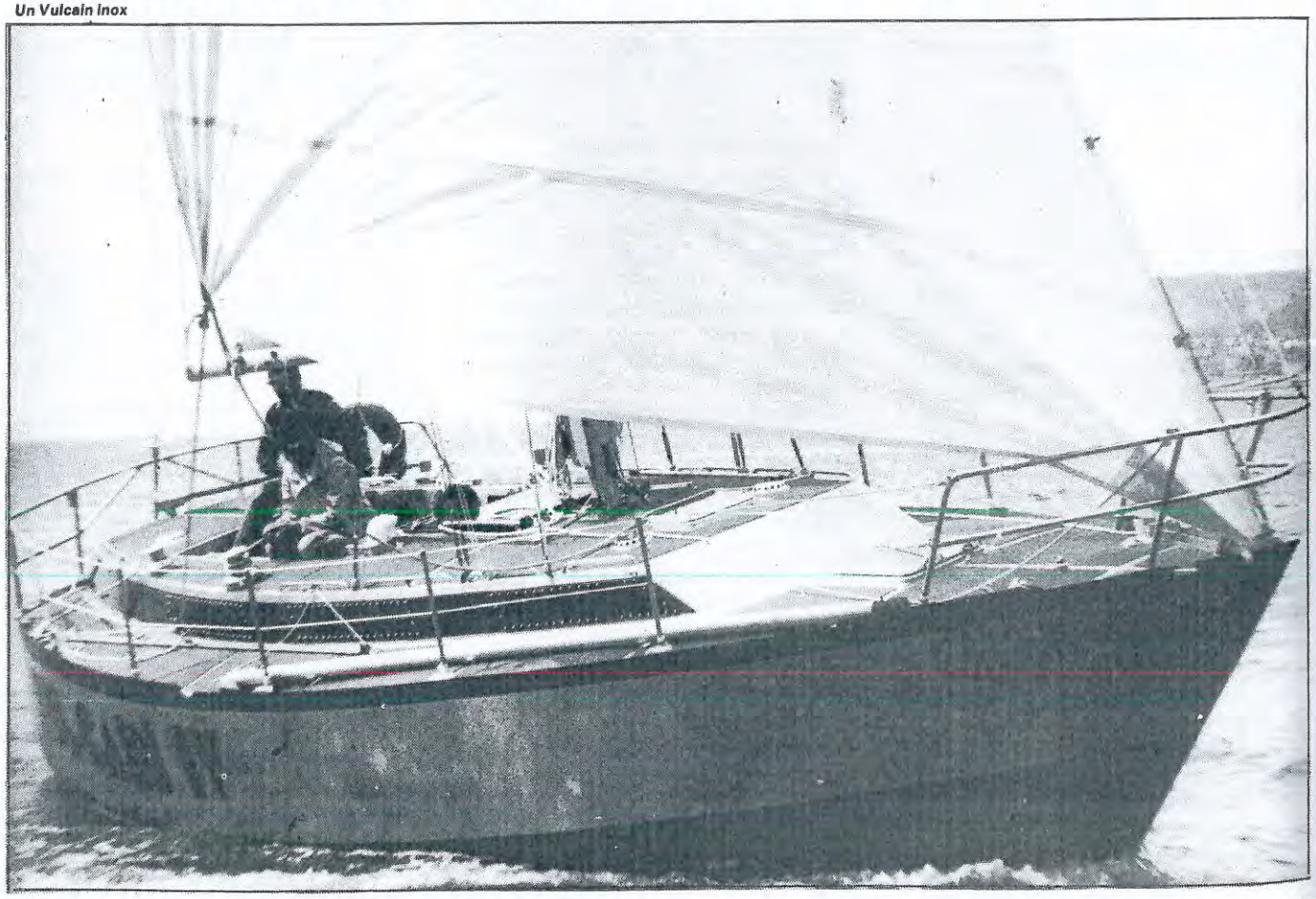
Il faut donc convenir que la construction amateur d'une coque pontée en inox n'est pas « *gagnée d'avance* ». Ne s'y aventureront que ceux qui auront une formation professionnelle leur rendant familier le soudage de l'acier et si possible déjà le travail de l'inox.

Par contre, on peut déjà concevoir que bien guidé par des conseils d'un architecte connaissant bien les spécificités de l'inox, un amateur puisse se construire une coque pontée dont la coque serait en acier doux et le pont serait en inox 304 L ou mieux en 316. Il lui resterait à effectuer un stage de soudure pour le pont, ou bien à faire faire les soudures du pont par un professionnel. Là, les chances de réussite sont plus grandes. Le coût d'achat de l'inox reste modéré et modifie peu le budget global du bateau armé et terminé. Les risques d'un pont un peu plus gondolé que s'il avait été en acier doux ne sont pas exclus. Mais il y a peu de risques de ruptures de soudures si elles ont été bien faites. Et par la suite, les commodités d'entretien du pont garderont au bateau un aspect agréable que n'ont hélas pas les ponts en acier mal conçus !

Une belle possibilité pour l'avenir de la construction amateur ! A peu près la seule ; sans risques d'avoir à la fois un bateau peu coûteux et d'un entretien faible et aisé. La seule pour un pont incorrodable et imputrescible.

A nous maintenant de préparer cet avenir et d'éviter à ceux qui voudront s'y essayer les écueils d'une préparation insuffisante, l'expérience des uns pouvant alors servir aux autres *(croquis B 26)*.

Un Vulcain inox



le hors-série n° 8 connaissance du tracé des carènes

voiliers et bateaux moteurs

COMMENT un bateau est-il conçu et calculé ?

Quelles sont les connaissances scientifiques précises qui permettent de dessiner un bateau et de prévoir son comportement ?

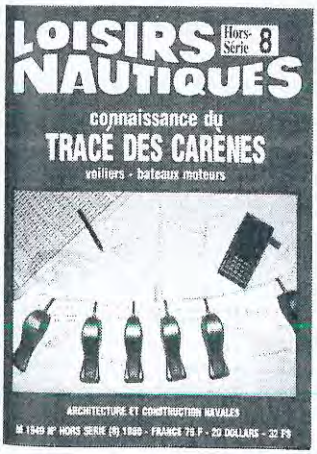
On a beaucoup écrit sur la « science intuitive » de l'architecte naval, sur son art, voire son génie parfois.

On a abondamment décrit la démarche intellectuelle qui préside à la conception d'un bateau.

Par contre dans son numéro spécial connaissance du tracé des carènes, Loisirs Nautiques vous fait découvrir la « science objective » de l'architecte naval, les lois physiques et mathématiques qui permettent de prévoir les formes d'un bateau et sa propulsion.

Particulièrement axé sur le tracé proprement dit d'un plan de forme, ce numéro spécial débute à la base : comment tenir un crayon pour tracer une courbe, et va jusqu'aux méthodes les plus modernes de tracé par ordinateur. Loin de s'arrêter là, ce numéro spécial présente une science nouvelle, totalement inédite, que les architectes navals découvriront avec vous : la conception d'une carène de bateau par une calculette de poche.

Il vous apprend comment un Colin Archer du début du Siècle aussi bien que le dernier microtonner, en passant par les vedettes à bouchains vifs peuvent être particulièrement réduits à quelques manipulations sur la plus simple des calculatrices.



Epuisé chez votre marchand de journaux. En vente par correspondance à LOISIRS NAUTIQUES.

SOMMAIRE

I

1° INTRODUCTION

8. **Etude sommaire d'une vedette à bouchains vifs.**
21. **Etude d'un voilier de croisière.**
28. **Calculatrices et ordinateurs.**

S

2° HYDROSTATIQUE

32. **Les aires. Calcul des surfaces ; intégration d'une courbe.**
34. Mesure d'une surface. Calcul numérique d'une surface.
37. **Centre de gravité ; centre géométrique.**
38. **Le devis de poids.**
42. **Enfoncement du bateau.**
42. Aire des couples.
43. Aire des flottaisons.
44. Position de la ligne de flottaison réelle.
45. **Equilibre longitudinal du bateau.**
45. Calcul de la position du centre de carène.
46. Les courbes de Bonjean.
49. **Equilibre transversal du bateau.**
49. Stabilité initiale.
50. Courbe de stabilité.

D

3° HYDRODYNAMIQUE

55. **Prévision de la vitesse d'un bateau.**
55. Résistance à l'avancement.
56. Maquettes et bassins.
57. Documentation.
59. Vagues et vitesse limite.
60. Comment tourner la loi de la vitesse limite : coques fines.
60. Coques à effet de sol.
60. Coques ailées.
62. Coques planantes.
65. Coques rapides.
66. **Hydrodynamique théorique ; les écoulements.**
66. Ecoulement en fluide parfait sur une surface courbe.
70. Ecoulement en fluide réel sur une surface plane.
73. Ecoulement en fluide réel sur une surface courbe.
75. **Théorie des ailes.**
75. Plaque plane en fluide parfait.
77. Aile réelle en fluide réel.
79. Géométrie d'une aile.
81. Les hélices.
83. Caractéristiques d'une hélice.
86. L'aération ou ventilation.
87. Parade à la cavitation et calcul d'hélice.
90. **Quelques phénomènes classiques d'hydrodynamique.**
90. Masse d'eau virtuelle.
90. Tourbillons de Karmann.
91. Les bulbes.

T

4° LE TRACE DES FORMES METHODE GRAPHIQUE

94. **Représentation de la carène.**
97. Le tracé d'une courbe.
99. Le tracé d'une carène.
112. Méthode de la différence seconde

F

5° LES BATEAUX EN FORMES

114. **Les carènes mathématiques.**
114. Repérage des points ; systèmes d'axes.
116. Représentation d'une courbe : fonction mathématique.
118. **Détermination de l'équation d'une courbe ; interpolation.**
118. Interpolations sur les polynômes.
122. Interpolations sur des séries de degré élevé.
123. Interpolations par la méthode de la latte ; fonction spline.
125. Les aberrations.
128. **Calcul d'une carène par interpolations.**
143. **Le lissage mathématique.**
143. Théorie d'un lissage par les moindres carrés.
143. Utilisation pratique d'un lissage.
146. **Calcul des carènes en forme méthode C. Grandpierre.**
146. La genèse d'une nouvelle méthode.
146. Espace du navire et lignes particulières.
149. Le dessin d'un bateau à partir des équations de forme.
153. L'équation de carène.
157. Exemple de calcul de carène.
165. Les courbes à plusieurs équations.
169. Résolution de quelques carènes typiques.
180. Construction, conception et invention amateurs.
186. Principe de l'analyse d'une carène.
195. Tableaux d'interpolation et de lissage

B

6° LES BATEAUX A BOUCHAINS VIFS

197. **Les surfaces développables.**
198. Vraies et fausses surfaces développables.
199. Les surfaces développables classiques.
200. Les techniques de dessin des bateaux à bouchains vifs.
201. **Détermination des surfaces développables à partir des lignes de bouchains.**
201. Détermination des lignes principales.
201. Détermination des génératrices.
203. Forme des couples.
204. Rayon de cintrage.
205. Le développement d'un bordé.
210. **Surfaces développables par cônes et cylindres ; graphique.**
214. Calcul des carènes à bouchains ; méthode C. Grandpierre.
214. Tracé du Pok 1 ; généralités.
220. Equation des surfaces développables.
225. Calcul des paramètres de l'équation.
232. Le coefficient de finesse.
240. Inclinaison du maître couple (Pok 3)
248. Multibouchains (Pok 4)
262. Exemple du bateau réalisé suivant cette méthode.
268. **Courbes annexes. Pont, rouf, etc.**
270. Le pont et le livet.

E

7° EXEMPLES DE DOSSIERS DE PLANS

Pages 275 à 294.

n°8

298 Pages
dos carré
couverture
plastifiée
format 210 X 270

un numéro très musclé

C

LES ACIERS DOUX

« Je sais maintenant que l'amour ne s'obtient qu'à force de soins délicats et d'attentions patientes. C'est le contraire d'une improvisation ».

Marcel JOUHANDEAU

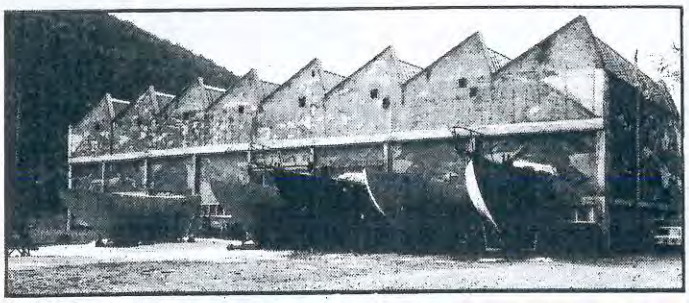


Image célèbre : les Joshua du chantier Méta. (Photo META)

1

GENERALITES FABRICATION, FER FONTE, ACIER

Dans notre civilisation industrielle, l'acier a une place omniprésente sous forme d'une multitude d'objets usuels, depuis les plus grands (ponts, immeubles), aux plus petits (épingles) ; des plus simples et les plus courants, automobiles, aux plus sophistiqués : instruments de micro-chirurgie. Les dérivés du fer, fonte, aciers, aciers alliés, aciers inoxydables, sont une infinie palette de traitements industriels qui en font des matériaux extrêmement différents les uns des autres.

L'acier n'existe pas tel quel dans la nature. Il est une combinaison de fer (Fe) et de carbone (C). Les aciers contiennent des impuretés (phosphore et soufre) éliminées en partie plus ou moins grande par l'élaboration des nuances. On leur ajoute aussi du silicium, du chrome, du nickel, du manganèse, du tungstène, pour leur conférer des qualités spécifiques.

Théoriquement, le nombre des nuances d'acier est infini puisqu'on peut faire varier à l'infini les éléments et les traitements qui les caractérisent. Mais on classe les aciers en « *aciers d'usage général* », « *aciers spéciaux* », ou aciers fins, ou carbone pour traitements thermiques ou « *alliés* ».

Ces aciers sont désignés par leur composition chimique et leurs caractéristiques physiques et mécaniques telles que :

- **Résistance :** limite d'élasticité, module d'élasticité, charge à la rupture, dureté...
- **Ductilité :** allongement à la rupture, malléabilité, pliage...
- **Résilience :** résistance aux chocs dans un diagramme de températures, élevée, ambiante ou basse.

Les « *aciers courants* » sont définis par leur résistance à la rupture ou leur élasticité. Les « *aciers spéciaux* » sont définis par un symbole conventionnel qui désigne leur composition chimique.

	U.S.A.	U.R.S.S.	JAPON	R.F.A.	G.B.	FRANCE	ITALIE
Production d'acier en 1973 en millions de tonnes	137	131	120	50	27	25	21
Consommation d'acier par personne en 1972 en kg	649	470	690	698	421	468	399

2

HISTOIRE DE L'ACIER METHODES MODERNES DE FABRICATION

Le stade de production industrielle de l'acier appartient à notre histoire récente. Mais le travail des métaux ferreux remonte aux limites de notre histoire, juste au sortir de l'Age de la *Pierre Polie* et de l'Age de Bronze, dès 2000 avant notre ère.

Plus solide que l'arme en bronze, l'arme de fer est un progrès technologique qui, partant d'Europe Centrale gagne vers l'Ouest.

On trouve les premières traces d'objets en fer à Sumer, au nord du Golfe Persique, vers 2000 avant J.C. (Sumer = civilisation babylonienne de moins 3000 à moins 1000).

La transformation du fer, première élaboration métallique réelle est le fait des Chalybes sur les bords de la Mer Noire, vers 1700 av. J.C. On trouve sur les traces de villages des vestiges de fours et fourneaux, des lames et des objets en fer pour l'agriculture. C'est un « acier extra-doux » avant la lettre, à structure encore fort hétérogène. Les Hittites développent cette technologie qui leur donne la domination de toute l'Asie Mineure et de l'Egypte. Le fer est ensuite utilisé dans

toute l'Europe du Centre et du Nord, la Méditerranée. La Suisse apparaît vers 1000 av. J.-C. comme un important centre métallurgique logé sur de vastes gisements de minerais de fer.

FABRICATION DU FER, DE LA FONTE, DE L'ACIER

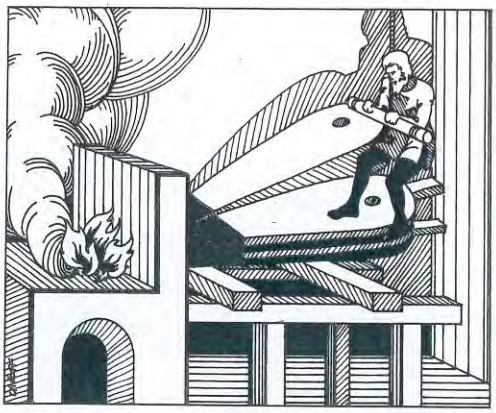
Le fer

A cette époque (moins 900) se trouve à *Hallstat (Illyrie)* une concentration de transformation du minerai de fer. Vers moins 500 se développe l'exploitation des gisements de la Tene, sur le lac de *Neuchatel* en *Suisse*. Le gisement de minerai donne la matière première et les forêts offrent le combustible.

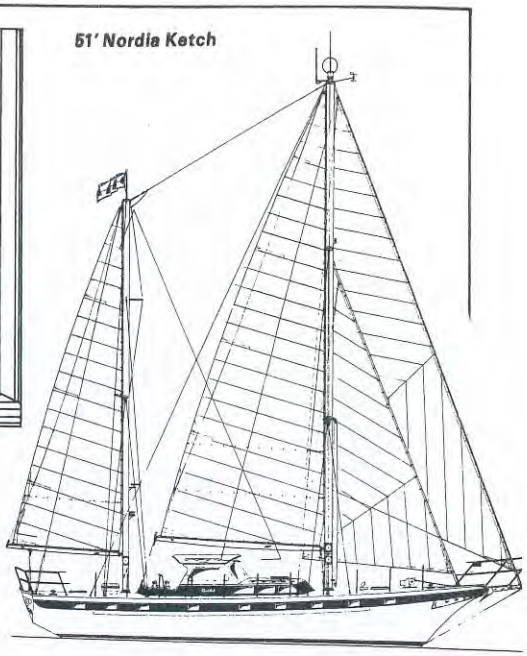
Un foyer (Bas Foyer) est creusé dans le sol. Le minerai de fer y est réduit par le charbon de bois. La masse du métal obtenue est faiblement carburée (acier extra-doux). Le métal, au contact d'éléments organiques, est durci par cémentation ou par nitruration. Ces éléments organiques sont azotés ou carburés.

A la même époque, la technologie du fer descend vers le Sud-Est, l'*Asie* et l'*Inde*, passe par les civilisations arabes (Damas) et revient à l'Europe par l'Espagne (Tolède).

Au Moyen-Age, les moines créent des arrivées d'air forcé dans les foyers par des tuyères. Des soufflets envoient l'air dans ces conduits. Mais le minerai n'est pas fondu. Les masses de fer produites par ces foyers sont battues (cinglées) au marteau, ce qui en fait ressortir les scories de charbon de bois et les impuretés. Ensuite, le métal est affiné, battu et chauffé, pour être amené à sa forme souhaitée.



Forge catalane à foyer bas, d'apprès une gravure du Moyen Age.



51' Nordia Ketch

La fonte

Jusqu'au 13e siècle, le fer était fabriqué dans des foyers où il n'était pas fondu mais amalgamé au carbone du charbon de bois. Une hauteur accrue des fourneaux, une ventilation forcée, permirent d'atteindre des températures plus élevées et de fondre le fer. C'était la Fonte.

Mais le métal était cassant et impossible à forger. Cependant on pouvait le mouler aisément. **La cause** : l'excès de carbone. La Fonte est la découverte du 13e siècle en Europe, dans la *Ruhr*.

A *Namur* on trouve les traces d'un haut fourneau construit vers 1340. Il mesure cinq à six mètres de haut.

Il faut ensuite attendre qu'en 1735 Darby réalise la distillation de la houille en Angleterre. Le charbon de terre remplace alors le charbon de bois dans la fabrication du fer et de la fonte.

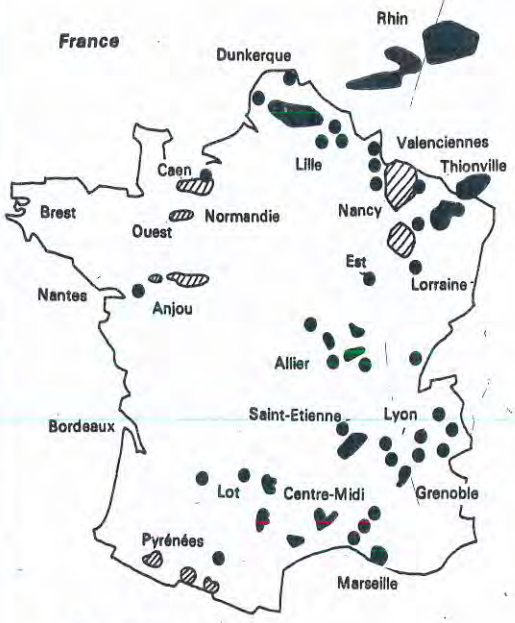
Le coke remplace la houille sur les travaux de Reynolds en Angleterre en 1745, et de De Wendel au Creusot en 1785.

En 1550, le premier laminoir est créé à Nuremberg.

En 1774, l'affinage de la fonte marque le seuil du travail de l'acier. L'Anglais Cort, crée un four à réverbère dans lequel les gaz de combustion baignent la fonte liquide à laquelle est mêlé un oxydant. L'ensemble est brassé mécaniquement. C'est le puddlage qui est effectué à une température inférieure du point de fusion du fer. La fonte liquide donne une galette de fer pâteux qui est battu pour être purifié de ses scories.

C'est en 1855 que l'Anglais Bessemer invente un procédé qui permet de liquifier le fer et de transformer la fonte en acier.

Diffusion de l'industrie du fer.



1 : Chalybes, 1.500 av. J.C.

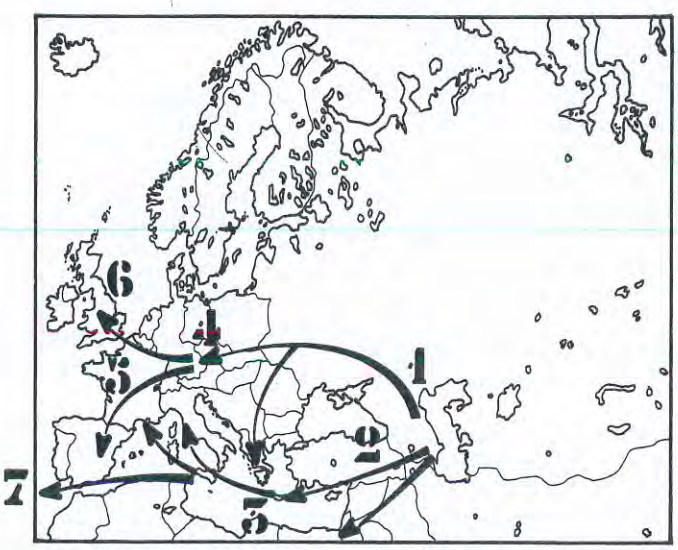
2 : Hittites, 1.400 av. J.C.
Vers l'Egypte, 1.100 av. J.C.

3 : Doriens, 1.100 av. J.C.
Myceniens, 1.000 av. J.C.
Vers Rome, 600 av. J.C.

4 : Hallstatt, 900 av. J.C.

5 : La Tène, 500 av. J.C.
Vers les Celtes.
Vers Tolède, 500 av. J.C.

6 : Vers les Angles.
7 : Autres directions.



L'opération se passe dans une énorme cornue métallique bardée de briques réfractaires acides. On fait passer un courant d'air pulsé à travers la fonte liquide. La chaleur qui permet d'obtenir l'acier liquide est donnée par la combustion du carbone et du silicium.

En 1865, le français Pierre Emile Martin invente le « *procédé Martin* » qui transforme la fonte en acier sur la sole d'un four Siemens. **Ce procédé permet enfin de traiter toutes les fontes y compris les fontes phosphoreuses données par le minerai de *Lorraine* :** La Minette.

Le procédé Bessemer est amélioré en 1878 par les deux Anglais Gilchrist et Thomas et peut lui aussi traiter les fontes phosphoreuses. Le revêtement réfractaire utilisé est basique et on ajoute de la chaux à la fonte liquéfiée.

C'est, par ces deux procédés, la naissance de la production industrielle de l'acier. Entre 1870 et 1970 la production d'acier va se multiplier par cent tandis que le rendement va se multiplier par deux cent cinquante !

Voyez la carte de l'introduction en Europe de la culture du fer et la Carte des Gisements français et limitrophes de minerai de fer.

FABRICATION MODERNE DE L'ACIER

Du minerai de fer au fer, puis du fer à la fonte et de la fonte à l'acier, l'élaboration demande trois mille ans de mise au point.

Il ne faut ensuite que quelques années pour passer de l'« invention » des procédés Martin et Thomas-Gilchrist à la phase industrielle de la production de l'acier. Mais c'est toujours la même méthode !

Les matières premières de la fabrication de l'acier sont le minerai de fer et le coke métallurgique.

Les minerais

Les oxydes de fer, les sulfures de fer et les carbonates de fer sont les minerais les plus répandus. Le fer représente 5 % de la croûte terrestre, contre 8 % pour les différentes formes de traces d'aluminium. Mais le fer à l'état pur n'existe pas sous une forme naturelle. Il est mêlé à une gangue terreuse dans laquelle il est combiné à d'autres éléments.

Au fur et à mesure de la consommation des stocks mondiaux on s'intéresse à des minerais de moins en moins riches en fer. On considère pourtant encore qu'un minerai n'est exploitable avec intérêt que s'il comporte un minimum de 27 % de fer.

On classe les minerais de fer en deux catégories : l'hématite à faible teneur en phosphore, et le minerai phosphoreux dont on possède en France de grands gisements en *Lorraine*. Ce minerai lorrain qui est au seuil de la teneur minimum en fer, avec 30 % est appelé, pour cette raison, la Minette. Heureusement ce minerai est très aisément réductible.



Image typique d'une construction amateur dans les années 70. Notez le portique de levage des tôles au-dessus de ce bateau.

Le coke

Le coke est la distillation du charbon dans des fours à coke qui libèrent aussi des gaz que l'on peut réutiliser pour le chauffage des mêmes fours, ou pour le chauffage urbain ou industriel. Seules quelques qualités de charbon, résistant à l'écrasement et se présentant en blocs de bonne taille, donnent un coke métallurgique de qualité.

L'élaboration de l'acier utilise aussi :

- Des fondants : calcaires (Castine) ou silices.
- Des déchets ferreux, récupération de ferraille.
- Des riblons, débouchures et copeaux récupérés.
- Des fontes de récupération.
- Des éléments additifs conférant aux aciers des qualités spéciales : manganèse, etc...

Les parements des fours sont en matériaux réfractaires, briques ou dalles, silico-alumineux, siliceux, magnésie, dolomie.

Enfin la fabrication de l'acier est grosse consommatrice d'eau et d'air.

La fonte

Dans un haut fourneau le fer avec d'autres composants, est liquéfié sous forme de fonte. C'est la première étape de la fabrication de l'acier.

Le haut fourneau comprend une cuve en tôles d'acier formant un double cône. L'intérieur est paré de dalles réfractaires. Un haut fourneau mesure de 20 à 80 mètres de haut pour un diamètre de 4 à 15 mètres.

Au bas du haut fourneau, se trouve le creuset. Dans les hauts fourneaux modernes, le creuset est revêtu de graphite. On y recueille la coulée de fonte et le laitier. La partie la plus large s'appelle le ventre. La température y est à son maximum, soit 1.800 à 2.000° C. Le haut du fourneau est le gueulard. On le tient fermé sauf pendant les opérations de charge qui s'opèrent par un orifice. Le gueulard est aussi le point d'évacuation des gaz de combustion qui sont ensuite recyclés.

A 2,50 m au-dessus du fond du creuset des tuyères amènent de l'air chaud qui alimente la combustion. L'ensemble de la cuve est au sein d'une charpente métallique très solide.

Le reste de l'installation comporte :

- Une rampe partant d'un silo de stockage du coke, du minerai et des autres composants (fondants) monte au gueulard. Cette rampe est un rail sur lequel monte un « skip » ou un tapis roulant en continu.
- Deux « cowpers », séries de tours métalliques parées de briques réfractaires. L'une pour que l'air frais soit chauffé à 1.000° avant de passer dans les tuyères et d'être amené au-dessus du creuset. L'autre pour recycler les gaz du gueulard dépoussiérés et épurés. La circulation du gaz est périodiquement inversée pour en assurer le brassage. Le reste des gaz du gueulard part en chauffage industriel ou urbain, une partie seulement va au « cowper ».

Le coke a un double rôle. D'une part, il chauffe et alimente la combustion. D'autre part, il prend l'oxygène combiné au fer dans le minerai de fer porté à fusion : il le réduit. Ce rôle de réducteur est dû à l'oxyde de carbone combustion du coke, stable à la température qui règne dans le « *ventre* ». L'oxyde de carbone circule dans le bas de la cuve. Le fer en fusion s'écoule vers le creuset où il se mêle au carbone pour donner la fonte. Les gaz montent vers le gueulard. A la surface de la coulée de fonte, plus léger qu'elle, « *flotte* » le laitier.

Les gaz sont récupérés au gueulard et recyclés. Le laitier s'écoule par un orifice en haut du creuset et est traité à part.

La fonte (fer fondu et carbone) est reçue au bas du creuset et s'écoule vers un réceptacle qui la mène à son traitement

dans l'aciérie. La fonte contient à ce stade 1 à 2 % d'impuretés (phosphore, soufre, silicium, manganèse), 3 à 4 % de carbone et 94 à 96 % de fer.

Le laitier est silico-aluminate de chaux constitué par les traces terreuses du minerai de fer.

Une part de la fonte est transformée en lingots pour le moulage de pièces en fonte.

La majeure partie va vers l'aciérie où elle est transformée en acier. On devrait dire en aciers. La coulée est reçue dans des « *poches* » de transport, amenée liquide à des mélangeurs qui la gardent à l'état liquide et commencent à la rendre homogène.

Les récentes années ont apporté leur perfectionnement aux composants du haut fourneau, et notablement accru leur rendement. A noter le traitement préalable du minerai par un premier enrichissement par concentration gravimétrique, flottation, séparation magnétique qui augmente les teneurs en fer, diminue le volume du laitier et l'impureté des gaz. Un procédé aggloméré par grillage, grillage magnétisant, pré-réduction, des minerais enrichis ou naturels et des fines qui sans cette opération n'étaient pas exploitables.

On assiste à un accroissement de la productivité, une réduction des gaspillages et des déchets, donc à une meilleure gestion du stock de minerai de fer qui pour être abondant n'est pas inépuisable.

L'acier

Il existe depuis le 19e siècle divers procédés de fabrication de l'acier. Nous les avons cités plus haut et allons les détailler maintenant, en commençant par le procédé anglais mis au point par Thomas et Gilchrist.

Procédé Thomas
Convertisseur Thomas

C'est un procédé dit « *par vent ordinaire* » et « *enrichissement en oxygène* ».

Le convertisseur Thomas permet dès 1878 de traiter les fontes phosphoreuses. Mis au point il nous arrive sous la forme décrite ci-après.

Une grande cornue en tôle est parée d'un revêtement intérieur en dolomie (basique) : CO_3CA-CO_3MG.

La fonte liquide est reçue dans le creuset du haut fourneau, transportée par poches dans un mélangeur où elle est maintenue en fusion. Elle est prélevée dans le mélangeur et versée dans un convertisseur qui s'incline pour cette opération puis est redressé à la verticale. A travers la masse de fonte liquide, on souffle un grand courant d'air enrichi ou non en oxygène. Cet air brasse la masse liquide et accélère la combustion du silicium, du carbone puis du phosphore. Cette combustion maintient la température nécessaire à la fusion sans apport d'autres calories. Elle dure vingt minutes. Les scories sont récupérées dans une cuve et recyclées. La coulée d'acier est déversée dans des lingotières.

Les lingots refroidissent, se solidifient et sont démoulés par « strippage ».

Ce procédé très rapide est courant en France car il permet l'exploitation économique du minerai phosphoreux de Lorraine. Le rendement est accru par l'oxygénation de l'air soufflé dans la fonte liquide, à une teneur de 33 % d'oxygène. La qualité des aciers en est améliorée et la vitesse de transformation accélérée.

En 1973, c'est un quart de la production française qui était élaboré par le procédé Thomas, soit 6,2 millions de tonnes de lingots d'acier liquide destiné à la transformation.

Acier affiné à l'oxygène

Dans l'air, c'est l'oxygène qui sert de combustible et alimente la fusion du fer. Cependant, quand on chauffe l'air qui ensuite est envoyé par les tuyères au-dessus du creuset, on chauffe l'oxygène de l'air et l'air tout entier ce qui consomme à peu près quatre ou cinq fois trop d'énergie.

Les méthodes modernes de production d'oxygène en quantité industrielle ont permis de remplacer l'air envoyé dans les cuves de fusion du fer par de l'oxygène.

L'oxygène est envoyé à la surface du bain en fusion par un procédé identique au procédé Thomas.

Les procédés à oxygène pur ou oxygène pur et poudre de chaux, qui permettent d'élaborer des aciers courants ou spéciaux, se développent extrêmement vite depuis 1959 et 1960. En effet inexistante en 1959 la production d'acier par ces procédés passe à près de 100.000 tonnes en 1960 et 15 millions de tonnes en 1973, ce qui représentait 52 % de la production française d'acier, tous procédés confondus.

Procédé Martin

Si le procédé Thomas est spécialement adapté à l'affinage des fontes phosphoreuses, le procédé Martin s'applique à tous les types de fontes. La fonte y est additionnée de tous types de ferrailles de récupération.

Dans un four Martin, le mélange de fonte, de ferrailles et de chaux est déposé sur la sole du four qui dit récupérateur. Cette charge est chauffée par une flamme sous la voûte de four. Cette flamme est la combustion de gaz de gazogène, de coke avec ou sans adjonction de gaz de haut fourneau, de gaz naturel, de goudron ou de fuel. Un préchauffage porte la température de l'air et des gaz mais aussi les parements réfractaires du four à un niveau très élevé.

L'affinage va durer plusieurs heures qui vont permettre de contrôler la qualité d'acier souhaitée et de corriger ses caractéristiques au fur et à mesure.

C'est ce qui permet aux fours Martin de produire des aciers fins de haute qualité et des aciers spéciaux.

Les fours Martin atteignent des productions unitaires de 300 à 400 tonnes par opération. En 1973 la production de 3,2 millions de tonnes d'acier sortait de tels fours en France.

Fours électriques

Les nouvelles valeurs de consommation d'acier et les nécessités d'économiser l'énergie ont conduit à la création de nouveaux fours.

Les fours électriques permettent de produire des aciers spéciaux très fins, en atmosphère neutre. Des éléments sont ajoutés à ces aciers tels que le nickel, le chrome, le tungstène, le molybdène et des ferrailles à très faible teneur d'impuretés. Ces fours permettent entre autres, la production d'aciers inoxydables. En général, trois électrodes entrent dans le four par la voûte qui pivote lors de chargements. Le four bascule d'un côté pour éliminer le laitier et les scories, puis de l'autre pour déverser la coulée d'acier dans des « *poches* » de transport. La contenance de ces fours peut atteindre 100 tonnes par opération pour les fours à arc ; quelques tonnes seulement pour les fours à induction.

En 1973, ces fours ont produit 2,6 millions de tonnes d'aciers spéciaux et inoxydables, soit 10,5 % de la production française d'acier.

L'industrie de fabrication de l'acier est génératrice de déchets dont un très grand nombre est recyclé dans la sidérurgie même (gaz, ferrailles) ou de nombreux autres secteurs comme vous le montre le schéma des sous-produits de la sidérurgie.

Laminage

Les installations dont nous venons de détailler les outils de production de l'acier sont des usines sidérurgiques. L'acier y est produit par fusion et la coulée est transformée en lingots. Ces lingots n'étant pas aisément exploitables par les transformateurs, les usines sidérurgiques possèdent des installations qui leur permettent de proposer aux transformateurs des demi-produits laminés, forgés ou moulés.

La majeure partie de l'acier est transformée par laminage à chaud, procédé qui est l'écrasement du métal réchauffé dans des petits fours (fours Pits, fours Poussants) entre deux cylindres de fonte ou d'acier qui tournent en sens opposé et font glisser le métal écrasé. Le « blooming » est la première opération de

dégrossissage. Cette phase s'appelle aussi « slabbing » si la section du métal écrasé est rectangulaire (et non carrée : broom). Cette présentation rectangulaire de l'acier est appelée brame ou slab.

Ensuite un matériel adapté lamine les brames en différents produits :

- Tôles, feuilles, feuillards, bobines
- Profilés allant du carré au rond, polygonaux, méplats.
- Poutrelles en I, H, U, LT, etc...

Le profil des cylindres (laminoirs) est bien entendu dessiné en vue de l'obtention de telle ou telle section de profilé et est lisse pour les produits plats.

En général, les laminoirs sont montés en continu et amènent progressivement les brames à leur section définitive.

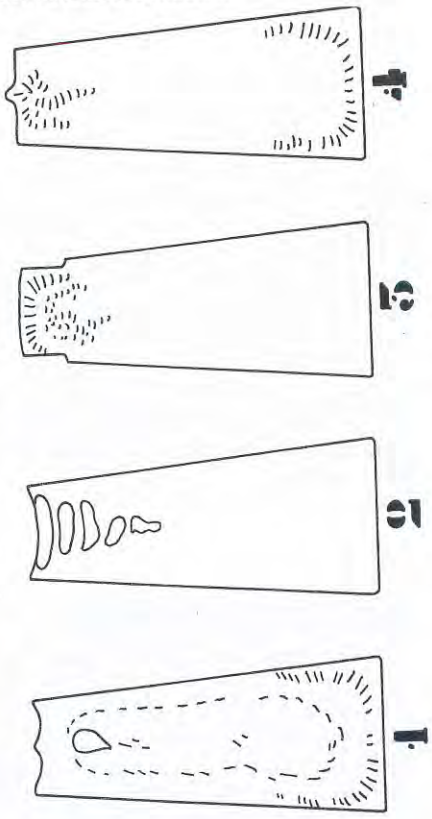
Forgeage

Comme l'indique son nom, cette opération rappelle l'ancien travail du forgeron aussi ancien que l'existence même du métal. Maintenant, des presses hydrauliques remplacent la masse, et atteignent des puissances de plusieurs milliers de tonnes. Les lingots sont transformés en pièces de différentes formes se rapprochant des dimensions définitives recherchées par les usines de mécanique qui auront la tâche de les usiner définitivement. Ce sont les « ébauches ».

Moulage

L'acier est moulé en lingots au sortir du mélangeur. Puis l'acier est refondu par des fonderies qui le reçoivent ou sous forme de lingots ou sous forme liquide. Le moulage dans des matrices donne à l'acier des formes très diverses qui ensuite seront réusinées.

Croquis C 6 : *Calmage des aciers de récupération de fonte et de mitraille.*



Croquis 1 : *L'oxygène provoque l'effervescence de l'acier. Des éléments se regroupent dans certaines parties du lingot.*

Croquis 2 : *Dans la lingotière, des additifs combinés à l'oxygène suppriment l'effervescence. On ne perd que la tête du lingot par retassure. L'acier est dit « stabilisé ».*

Croquis 3 : *Le haut de la lingotière est étranglé en goulot de bouteille pour arrêter l'effervescence. L'acier est dit « bloqué ».*

Croquis 4 : *Si l'oxygène n'est qu'en partie éliminé, l'acier est dit « semi-calmé » ou « compensé ».*

3
PRODUITS SIDERURGIQUES NUANCES ANALYSES

Les produits sidérurgiques sont les produits directement traités dans les usines sidérurgiques élaborant l'acier. C'est à la transformation des lingots en produits de section carrée ou rectangulaire ou aplatie. Les premiers sont les billettes, profilés de section relativement grossière. Les plus plates sont des tôles fortes. On trouve aussi des « gros ronds » de section ronde. Ces produits sont laminés à chaud. D'autres sont forgés à la presse en forme d'ébauches. Les derniers sont moulés. Les uns comme les autres sont ensuite transformés et usinés. Ces produits laminés repassent en laminoirs pour faire des tôles ou des profilés ; les seconds, forgés sont usinés ; de même, les derniers, moulés.

Il ne faudra donc pas confondre l'appellation de produits sidérurgiques avec les produits de première transformation déjà travaillés dans les usines de transformation sidérurgique, laminoirs, fonderies, etc. Par exemple, un T ou un tube ne sont pas des produits sidérurgiques.

Les produits sidérurgiques sont désignés par leur nuance, leur qualité, leur composition pour les aciers alliés leur forme et leurs dimensions.

DEFINITION DE L'ACIER

Les aciers sont composés de fer et de carbone avec des éléments complémentaires, métalliques ou non.

On définit les aciers par les termes de la norme AFNOR A.02.025 de décembre 1973 : *« On appelle aciers les alliages ferreux qui sont en général aptes au façonnage à chaud. A l'exception de certains aciers à haute teneur en chrome, ils ont une teneur en carbone égale ou inférieure à 2 %, teneur limite qui les sépare des fontes ».*

« On appelle alliage ferreux les alliages métalliques dans lesquels la teneur moyenne en fer, exprimée en pourcentage, est supérieure à celle de tout autre élément de l'alliage ».

CARACTERES GENERAUX

On reconnaît aux aciers des qualités de faible prix d'achat en partie dues à la facilité de production dans les gisements abondants, largement répartis, facilement exploitables ; de facilité de transformation ; de docilité de mise en œuvre. Une autre qualité est de trouver une grande variété d'aciers selon leur composition chimique (travail de l'acierie), selon les opérations effectuées sur leur structure métallographique (traitement thermique) ou selon les opérations mécaniques à chaud ou à froid, étirage, tréfilage, extansion, laminage à froid, écrouissage. **Et même récemment de nouveaux traitements mettent en œuvre le thermomécanique :** austeniformage...

Il en découle diverses qualités telles que la soudabilité, ductilité, usinabilité, forgeage, formage à chaud ou à froid, etc. Ainsi que des qualités d'utilisation : résistance mécanique, résistance à la corrosion.

NUANCES ET QUALITES

Les aciers sont classés par nuances selon les opérations d'élaboration et les éléments additionnés, en nombre et en pourcentage.

On définit alors deux catégories d'aciers :

- Aciers alliés.
- Aciers non alliés.
- Les aciers sont dits non alliés lorsqu'aucun des éléments d'addition n'atteint un pourcentage fixé par ce tableau.

ELEMENTS D'ADDITION	SYMBOLE ABREGE	SYMBOLE CHIMIQUE	% LIMITE
Aluminium	A	Al	0,10
Bismuth	.	.	0,10
Bore	B	B	0,0008
Chrome	C	Cr	0,30
Cobalt	K	Co	0,10
Cuivre	U	Cu	0,40
Lanthanides	.	.	0,50
Manganèse	M	Mn	1,60
Molybdène	D	Mo	0,08
Nickel	N	Ni	0,30
Niobium	Nb	Nb	0,05
Plomb	Pb	Pb	0,40
Sélénium	Se	Se	0,10
Silicium	S	Si	0,50
Tellure	.	S.	0,10
Titane	T	Ti	0,05
Tungstène	W	Tu	0,10
Vanadium	V	V	0,10
Zirconium	Z	Zr	0,10
Divers			0,05

Quand plusieurs éléments sont associés par combinaison, on considère leur pourcentage par combinaison et leur pourcentage individuel.

Dans ces éléments ne sont pas comptabilisés les pourcentages d'oxygène, carbone, phosphore, soufre, azote.

Les aciers sont dits alliés quand un ou plusieurs éléments atteignent ces pourcentages limite. La norme NF définit par leur composition chimique les nuances d'acier allié.

En sous-classification des aciers, et tenant compte de leurs conditions d'utilisation, on établit les trois catégories :

- aciers de base,
- aciers de qualité,
- aciers spéciaux, fins.

Aucune garantie ni spécification n'est attachée aux aciers de base qui sont des aciers satisfaisant à la plupart des utilisations courantes : rivetage, usages mécaniques, soudage.

Les aciers de qualité sont des aciers contrôlés dans leur état de surface, leur structure cristalline, leurs traitements, leur résistance à la rupture. Ils sont en général garantis et sont destinés aux besoins de traitements thermiques.

Les aciers spéciaux présentent une pureté supérieure aux autres catégories et sont destinés aux traitements thermiques. Ils sont garantis dans leur présentation, leur composition et leur structure cristalline.

Les aciers de base et aciers de qualité représentent la très grande majorité de la production française. En général, les aciers de base sont eux aussi capables de recevoir ces traitements à froid (écrouissage) et des recuits par d'autres traitements thermiques, et ne sont pas garantis.

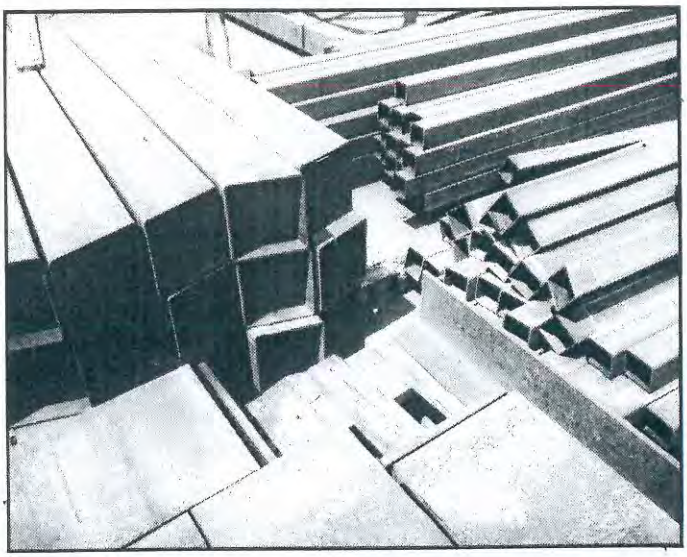
ACIERS DE BASE NON ALLIES

Sont des aciers de base ceux qui possèdent les caractères suivants :

- Pas de traitement thermique prescrit sauf les recuits.
- Résistance R minimale inférieure ou égale à 690 N/mm².
- Limite d'élasticité Re minimale inférieure ou égale à 360 N/mm².
- Allongement à la rupture A minimale sur 5 d. inférieur ou égal à 26 %.
- Pliage minimal supérieur ou égal à 1e.
- Résilience KV (à + 20°) minimale inférieure ou égale à 28 J (long).
- Dureté HRB maximale supérieure ou égale à 60.
- C maximale supérieure ou égale à 0,10 %.
- P et S maximale supérieurs ou égaux à 0,050 %.
- N² maxi. supérieur ou égal à 0,007 %.

Il n'y a pas d'acier de base allié.

Photo C4 : *Un marbre peut être fait avec des tubes carrés.*



ACIERS DE QUALITE NON ALLIES

- Ce sont les aciers d'usage courant pouvant être profilés à froid et convenant au bordage.
- Ces alliés ont une grande soudabilité une résistance à la rupture contrôlée et une bonne tenue au vieillissement.
- Barres et fils laminés par l'étirage et la frappe à froid, l'extrusion à froid, l'estampage et le tréfilage fin. Conductibilité élastique bonne.
- Aciers à chaudières et appareils à pression.
- Aciers pour appareils à forte chaleur ou grand froid.
- Aciers entrant dans des constructions et ouvrages devant présenter une bonne tenue à la corrosion.
- Aciers pour emboutissage à froid : tôles et bandes. A pertes magnétiques faibles et minimum d'induction magnétique.
- Aciers pour décolletage.
- Aciers pour traitements de surface ou dans la masse avec S ou P supérieurs à 0,035 %.

ACIERS DE QUALITE, ALLIES

- Aciers de construction à grains fins.
- Soudabilité avec Re inférieure ou égale à 420 N/mm² (e inférieure ou égale à 16 mm).
- **Aciers à teneurs :**
- en chrome, cuivre, nickel inférieures à 0,50 %,
- en titane et zirconium inférieures à 0,12 %,
- en niobium et lanthanides inférieures à 0,06 %,
- en vanadium inférieure à 0,08 %,
- en manganèse inférieure à 1,80 %.
- Aciers pour tôles et bandes à limitation de pertes magnétiques contenant seulement du silicium ou de l'aluminium.
- Aciers silico-manganeux pour ressorts ou pièces d'abrasion, avec S et P supérieurs à 0,035 %.
- Aciers pour rails.
- Aciers contenant un pourcentage de cuivre entre 0,50 et 0,70 %.

ACIERS SPECIAUX NON ALLIES

Ce sont des aciers destinés à supporter des traitements thermiques avec :

- garantie de résilience à l'état traité ou trempé à blanc.
- Profondeur de trempe ou de cémentation garantie.
- Pourcentage limité d'impureté.
- Garantie d'usinabilité.
- Aciers à outils ; à haute qualité de propriétés électriques et magnétiques.
- Fil machine pour patentage : fils pour électrodes, fils pour renforcer les pneumatiques, etc.
- Aciers pour réacteurs nucléaires avec teneur limitée et contrôlée en cuivre, cobalt, chrome, molybdène, vanadium, etc.

Les aciers spéciaux alliés sont tous les autres aciers que ceux correspondant à ces définitions. *(Photo C 4. Croquis C 6).*

4 NORMES

DESIGNATION CONVENTIONNELLE ABREGEE

D'abord désignées par des lettres ou des groupes de lettres formant des « *marques* », les nuances d'acier sont maintenant désignées par des symboles normalisés, internationaux ou nationaux avec des équivalences.

Bien sûr, ci-après, ce sont les symboles français AFNOR qui vous sont donnés, mais nous les complétons plus loin par les correspondances allemande et américaine (RFA et USA), adoptées par leur organisation : le CECA.

DESIGNATION AFNOR (A 02 005)

Les aciers de base et les aciers de qualité sont désignés par leurs caractéristiques mécaniques.

Les aciers spéciaux sont définis par leur symbole et composition chimique.

DESIGNATION PAR LES CARACTERISTIQUES MECANIQUES

Les caractéristiques mécaniques qui servent à désigner les aciers de base et les aciers de qualité sont la valeur minimale de leur limite élastique (limite d'élasticité) = E, et la valeur minimale de leur résistance à la traction = A. Ce sont les désignations de nuances.

Ces lettres E ou (et) A sont suivies d'un chiffre désignant la qualité d'élaboration = 1, 2, 3 ou 4.

Une lettre ou un groupe de lettres peuvent suivre l'ensemble précédent, qualifiant des utilisations particulières :

- C, pour les aciers à chaudières.
- P pour les aciers d'appareils à pression.

Eventuellement, un symbole désigne l'élément d'addition le plus important s'il confère à la nuance considérée des capacités particulièrement intéressantes.

On détaille ainsi ce tableau :

NUANCE	QUALITE	AUTRE DEFINITION
A 33	1 ou 2	
A 34	1 ou 2	
E 24	1, 2, 3 ou 4	A 37
E 26	1, 2, 3 ou 4	A 42
E 30	2, 3 ou 4	A 47
E 36	2, 3 ou 4	A 52
A 50	1 ou 2	
A 60	1 ou 2	
A 70	2	

Par exemple : Un acier E.24-2 est un acier de base dont la valeur minimale de limite d'élasticité (E) est de 24 Kgf/mm², et de qualité 1.

Autre exemple : Un acier E.36-4 est un acier de qualité (dit de résilience) dont la limite d'élasticité (E) est au minimum de 36 Kgf/mm² et de qualité 4. Sa résistance à la rupture A est au minimum de 52 Kgf/mm². On l'appelle E.36-4, mais globalement on peut aussi le désigner par A.52.

Les aciers de base et de qualité usuels sont désignés par la norme NF.A.35.501.

Les aciers à chaudières sont désignés par la norme NF A.36-205. Par exemple A.37.C.1. où la lettre C désigne la qualité « chaudière » d'un acier A.37 ou E.24.

Les aciers de décolletage sont désignés par la norme NF A.35.561. Par exemple E.24-2-PB est un acier E.24 à limite d'élasticité minimale de 24 Kgf/mm², de qualité 2, au plomb.

Les aciers pour béton sont désignés par les normes NF A.35.015 à NF A.35.018. Leur symbole est précédé par le symbole Fe = Fe E 24 est un E.24 pour fers à béton.

Les aciers pour tuyauteries forcées sont définis par la norme NF A.36.506 et leur désignation est précédée par les lettres CF (conduite forcée) = CF 24 pour un acier de nuance E 24 pour conduits forcés.

Les tôles à chaud sont désignées par la norme NF A.36.301 et sont désignées par les sigles 0C, 1C, 2C, etc.

Les tôles à froid sont désignées par la norme NF A.36.401 avec des sigles TC, E, ES, etc.

Les fils sont désignés par la norme NF A. 35.051 et sont caractérisés par le sigle FM (fil machine) ou par la norme NF A.35.053 avec les sigles FB ou FR avec un nombre qui donne leur teneur moyenne en carbone.

UNITES DE MESURE

Maintenant, les caractéristiques mécaniques sont écrites en Newtons et non plus en hectobars, par mm² = N/mm² au lieu de Hbar.

10 Newtons/mm² = 10 N/mm² = 1 hbar.

De plus, on arrondit le résultat du calcul de conversion des Kgf/mm².

Ainsi, 35 Kgf/mm² = 343,35 N/mm²

On arrondit à 345 N/mm.

DESIGNATION PAR LA COMPOSITION CHIMIQUE

Si les aciers de base et de qualité sont désignés par les caractéristiques mécaniques ainsi que nous l'avons vu au chapitre précédent, les aciers spéciaux sont, eux désignés par leur composition chimique.

Aciers au carbone

La désignation se fait par les lettre CC et la valeur de la teneur en carbone d'après analyse usuelle.

Par exemple : CC 45 pour un acier à 45 % de carbone. Ou CC 10, CC 20, CC 35, CC 45.

Dans le cas d'analyses spéciales plus resserrées et détaillées, la désignation est faite par les lettres XC. Nous aurions ainsi XC 38 pour un acier à 38 % de carbone analysé avec une fourchette étroite de résultats. OU XC 10 12 18 25 32 38 42, jusqu'à XC 80.

ACIERS ALLIES

● Lorsqu'aucun élément n'atteint 5 %.

Quand aucun élément de l'alliage n'atteint 5 % la désignation comporte une suite de lettres et de chiffres :

- teneur en carbone en %,
- symboles abrégés des élements en ordre décroissant de leur valeur,
- un nombre qui indique la teneur en % du premier élément celui dont la teneur est la plus grande.
- Parfois un second nombre qui est la teneur du second élément par ordre de teneur.

Ces deux chiffres ne sont pas l'indication de la teneur de ces éléments, mais cette valeur multipliée par un coefficient dit « *multiplicateur* ». Après tout pourquoi faire simple si on peut faire compliqué et savant ?...

Par exemple, 65 NCD 16 (au nickel, chrome, molybdène) ou 30 CND 8 au chrome, nickel, molybdène.

● Lorsqu'un élément au moins atteint ou dépasse 5 %.

On trouve :

- la lettre Z,
- la teneur en carbone en %,
- une ou plusieurs lettres pour la valeur de l'élément le plus important, ou les valeurs des éléments principaux,
- la teneur en % de l'élément le plus important,
- la teneur en % du second élément.

Exemple :

Z 10 CN 18.09 (acier inoxydable),

Z 12 CND A6.04 (acier inoxydable).

(Photos C 6 - C 8).

TABLEAU DES SYMBOLES ABREGES ET COEFFICIENTS MULTIPLICATEURS DES ELEMENTS D'ADDITION

ELEMENTS	SYMBOLES ABREGES	COEF. MULTI.
Aluminium	A	10
Bore	B	—
Chrome	C	4
Cobalt	K	4
Cuivre	U	10
Manganèse	M	4
Molybdène	D	10
Nickel	N	4
Niobium	Nb	10
Plomb	Pb	10
Silicium	S	4
Soufre	F	10
Titane	T	10
Tungstène	W	10
Vanadium	V	10

TABLEAU DES NORMES DES PRINCIPAUX ACIERS DE BASE DE QUALITE ET SPECIAUX

	Aciers de base		Aciers de qualité		Aciers spéciaux	
Aciers non alliés	E 24-1 et 2 E 26-1 et 2 E 30-2 A 33 A 34-1 et 2 A 50-1 et 2 A 60-1 et 2 A 70-2 A 37 R A 42-R Nuances FM qualité 1 OC TC	NF A 35-501 et NF A 36-101 — — — — — NF A 35-075 — NF A 35-051 NF A 36-301 NF A 36-401	E 24-3 et 4 E 26-3 et 4 E 30-3 et 4 E 36-3 et 4 Toutes nuances C, P, FP, chaudières et app. à pression Aciers de décolletage Nuances FM, qualité 3 Nuances FB et FR 1C, 2C, 3C E, ES	NF A 35-501 et NF A 36-101 NF A 36-205 et NF A 36-208 NF A 35-561 NF A 35-051 NF A 35-053 NF A 36-301 NF A 36-401	Aciers CC et XC Aciers à outils et de coutellerie	NF A 35-551 et normes affiliées et dérivées NF A 35-590 NF A 35-596
Aciers alliés	Aucun		E 355, E 375* Aciers pour rails Aciers silico-manganeux pour ressorts.	NF A 36-201	Tous aciers alliés à l'exception de certains aciers HLE, d'aciers pour rails, d'aciers pour tôles électriques Aciers inoxydables réfractaires, etc.	NF A 35-551 et normes affiliées et dérivées NF A 35-572 et normes affiliées

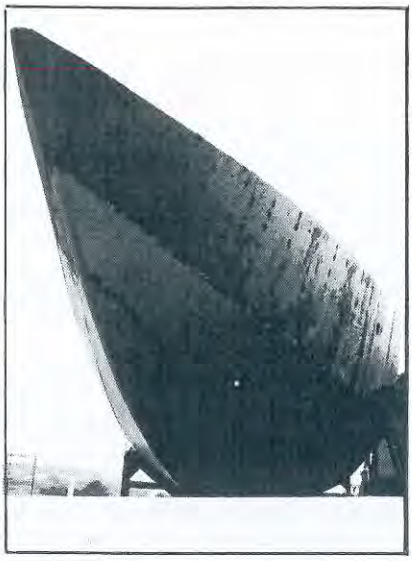


Photo C8 : *C'est joli un bateau en construction.*

5

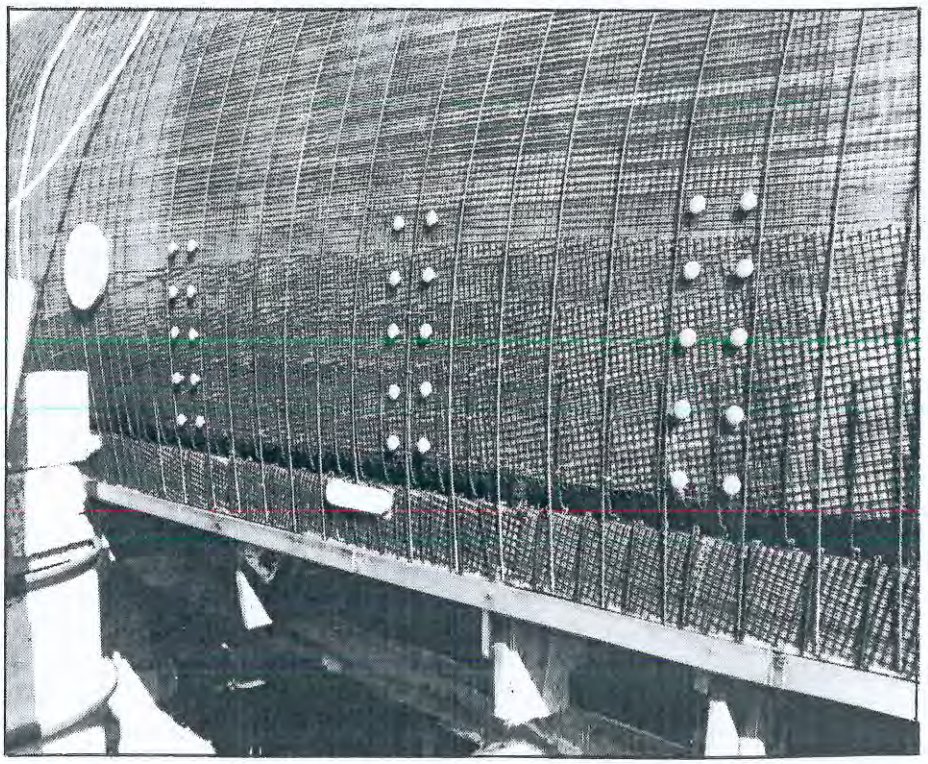
CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES PRINCIPAUX ACIERS DE BASE ET DE QUALITE

Les aciers de base (aciers courants) et aciers de qualité (aciers courants de qualité supérieure) sont définis par leurs caractéristiques mécaniques, tandis que les aciers spéciaux sont définis par leur composition chimique. Ce qui ne veut pas dire que les compositions chimiques des aciers courants ne soient pas tenues en compte.

Les caractéristiques mécaniques peuvent servir à comparer les aciers courants entre eux, à la condition que les conditions d'essai qui mènent à la définition de ces caractéristiques soient contrôlées et normalisées, ce que nous avons vu aux chapitres précédents. C'est le rôle des normes AFNOR pour la France. Le tableau des équivalences nous indique les normes étrangères qui correspondent aux normes françaises.

On étudie ainsi :

Photo C6 : *L'acier sert aussi à fabriquer l'armature des bateaux en ferro-ciment. Ici, le bordé sera fait d'un mélange d'araldite et de béton (Photo Ciba-Geigy).*



- L'élasticité, qui est la possibilité de l'acier de se déformer sous un effort limité dans le temps ;
- **La plasticité qui est la possibilité de supporter sans rupture une déformation permanente, dite :** Malléabilité, pour les déformations par laminage ou martelage à l'état de feuille, ou ductilité pour les déformations par étirage.
- La malléabilité est dont la possibilité d'une nuance à être pliée, emboutie, formée, roulée, etc.
- La ductilité est donc la possibilité d'une nuance à être transformée en fils et très petits profils.

Selon leur teneur en carbone, on distingue par leur plasticité les aciers doux des aciers durs, les aciers doux étant plus malléables.

RESISTANCE A LA RUPTURE

Dite aussi *« limite d'élasticité »*, « allongement à la rupture », divers aspects d'un même test. Ce test est le contrôle de l'étirement d'une éprouvette plate ou cylindrique. **Il révèle les différentes phases de l'étirement de l'éprouvette :** Phase élastique, phase d'allongement permanent, phase de striction, puis la rupture.

Pendant la phase élastique seule, le métal reprend sa force initiale si on arrête l'étirement. La pente du début de cette courbe détermine le module d'élasticité, dit module de Young ; dans le passé, les calculs se faisaient en hectobars ou kilogrammes forces par mm². Maintenant, ils se font en Newtons, comme nous l'avons vu dans le chapitre intitulé « Unités de mesure » des produits sidérurgiques. 1 N mm² étant $1/10^{e}$ d'hectobar. Il est de 20.000 à 22.000 (hbars), pour l'acier.

Si on poursuit le test, on note une déformation permanente uniforme, puis des déformations localisées permanentes : la striction.

E ou Re

La valeur de la limite d'élasticité (E ou Re) est celle de l'effort unitaire pour passer de la phase d'élasticité à la phase d'allongement permanent. Ce passage n'étant pas très évident pour tous les tests, on peut donner les valeurs (en N/mm²) de l'effort pour lequel l'allongement permanent sur 10 secondes d'application de la charge est de 0,2 % de la longueur de l'éprouvette : Re 0,2 % (ou R 0,002).

R

A la fin de l'essai, l'éprouvette casse. La valeur de l'effort à ce moment est notée, c'est la résistance à la rupture (R), dite aussi charge de rupture.

A

Entre le début et la fin du test, on mesure l'allongement total de l'éprouvette. **En %, c'est l'allongement à la rupture :** A ou A %.

Les Hors-Série de Loisirs Nautiques, une véritable encyclopédie de l'architecture et de la construction navales. 15 numéros sont à votre disposition. Voir en fin de ce numéro le bulletin de commande.

APTITUDE AU PLIAGE

On plie une éprouvette posée sur deux supports. L'apparition de fissures sur les tranches et la face extérieure du pli indique la limite d'angle ou limite de rayon de pliage. L'aptitude au pliage n'est garantie que pour les produits d'une épaisseur inférieure à 80 mm. Le rayon est exprimé en mulitple de l'épaisseur « e » de la tôle.

RESILIENCE

C'est la résistance au choc d'un acier. Une barre rectangulaire est posée sur tranche. Le bord supérieur est entaillé :

- d'une entaille en V pour l'essai Charpy (KCV)
- d'une entaille en U pour l'essai Charpy (KCU)

Un mouton pendule Charpy brise l'éprouvette d'un seul coup. L'énergie absorbée pour produire cette rupture est la valeur de la résilience. Un test est fait à 0° C, un autre à 20° C. Pour le voilier d'expéditions polaires, cette valeur était très importante pour déterminer les échantillonnages du bordé. En effet, les chocs sur la glace à des températures basses étaient exactement l'application « *sur le terrain* » du test de Résilience.

Une nuance E 36 3, dite « *à Résilience* » fut choisie.

DURETE

On exprime la dureté d'un acier en « Dureté Brinnel » ou « Dureté Rockwell » ou « Dureté Vickers », selon l'origine du test opéré.

L'origine du test est toujours indiquée.

Un effort de pénétration est appliqué sur la surface d'un échantillon par une bille ou un volume cônique ou pyramidal. La dimension de l'empreinte détermine la dureté.

Voyez les valeurs de ces essais pour les aciers courants de base et de qualité sur les tableaux qui en donnent les valeurs. *(Photo C 9).*

Aciers non alliés

Aciers de base	Aciers de qualité	Aciers spéciaux
Font partie des aciers de base tous les aciers répondant simultanément aux conditions suivantes : a) Aucun traitement thermique n'est prescrit sauf le recuit. b) Les caractéristiques garanties par les normes ou spécifications sont : Résistance R minimale $\leqslant$ 690 N/mm² Limite d'élasticité Re min. $\leqslant$ 360 N/mm² Allongement A min. sur 5 d $\leqslant$ 26 % Pliage minimal $\geqslant$ 1 e Résilience KV (+ 20° C) min. $\leqslant$ 28 J (long) Dureté HRB (max.) 60 C max. $\geqslant$ 0,10 % P et S max. $\geqslant$ 0,050 % N² max. $\geqslant$ 0,007 % c) Aucune autre spécification particulière de qualité n'est prescrite.	1) Aciers de construction d'usage général devant répondre à des prescriptions particulières pour l'aptitude au bordage et au profilage à froid. 2) Aciers de construction devant répondre à des prescriptions particulières pour l'aptitude fragile et le vieillissement, caractérisées par des valeurs minimales de résilience à des températures inférieures à 20° C et jusqu'à — 50° C, d'au max. 28 J à — 50° C (KV en long). 3) Barres et fils laminés destinés à l'étirage avec exigences particulières d'état de surface, à la frappe à froid, à l'extrusion à froid, à l'estampage et au tréfilage fin. 4) Aciers destinés à la construction des chaudières et appareils à pression devant répondre à des prescriptions particulières aux températures élevées et aux basses températures. 5) Aciers de construction devant satisfaire à des exigences particulières de tenue à la corrosion. 6) Tôles et bandes pour emboutissage à froid. 7) Barres et fils laminés devant satisfaire à des exigences particulières de conductibilité électrique (max. de 9 siemens). 8) Tôles et bandes à pertes magnétiques limitées et à min. d'induction magnétique. 9) Aciers de décolletage sans condition de résilience. 10) Fils laminés pour patentage avec 0,030 < (S et P) < 0,050 %. 11) Aciers destinés au traitement dans la masse ou en surface avec S et P > 0,035 % et sans prescriptions particulières. (Voir colonne aciers spéciaux § 1).	1) Aciers destinés au traitement thermique avec precriptions supplémentaires dans un au moins des domaines suivants : — garantie de résilience à l'état traité ou trempé à blanc. — profondeur de trempe ou de cémentation. — état de surface — teneurs limites en inclusions non métalliques — l'usinabilité obtenue par addition de S, Pb, Se, Te, ou Bi avec résiliences garanties. 2) Aciers à outils 3) Les aciers devant satisfaire à une des prescriptions suivantes : — à teneurs faibles en inclusions non métalliques — fil machine pour patentage avec S et/ou P $\leqslant$ 0,030 % — fil machine avec P et S < 0,025 % sur produit. — fil machine avec C $\geqslant$ 0,62 % S et P $\leqslant$ 0,025 et Cu < 0,10 % (ex. : fils pour armatures de pneumatiques, fils pour électrodes). — aciers à propriétés magnétiques et électriques. — aciers pour réacteurs nucléaires à teneurs limitées en Cu, Co, Cr, Ni, Mo, V, P, simultanément.

Caractéristiques comparées					
	Masse spécifique	Résistance à la flexion	Module d'élasticité	Résistance spécifique	Module spécifique
Stratifié de verre	1,45	18	1.000	12,5	689
Aluminium	2,7	25	7.000	9,3	2.590
Acier	7,8	40	21.000	5,1	2.692

(D'après le numéro Hors Série n° 10 de Loisirs Nautiques sur « La construction polyester dans la plaisance »).

Caractéristiques mécaniques comparées			
Caractéristiques	Acier	Alliage d'aluminium	Polyester armé verre
Module d'élasticité E kg/mm2	20.000	7.000	3.000
Rupture, R kg/mm	50	20	—
Allongement à la rupture, A en %	30	20	5

Pour un poids constant			
Densité	7.8 à 8	2.7	1.5
Résistance à la rupture Rr kg/mm²	24	12	16
Limite élastique Re kg/mm²	45	27	—
Module d'élasticité E kg/mm²	21.000	7.100	950
Energie dépensée par l'homme pour parvenir à une unité commune de rigidité d'une poutre = Tonnes d'équivalent pétrole	50	200	85

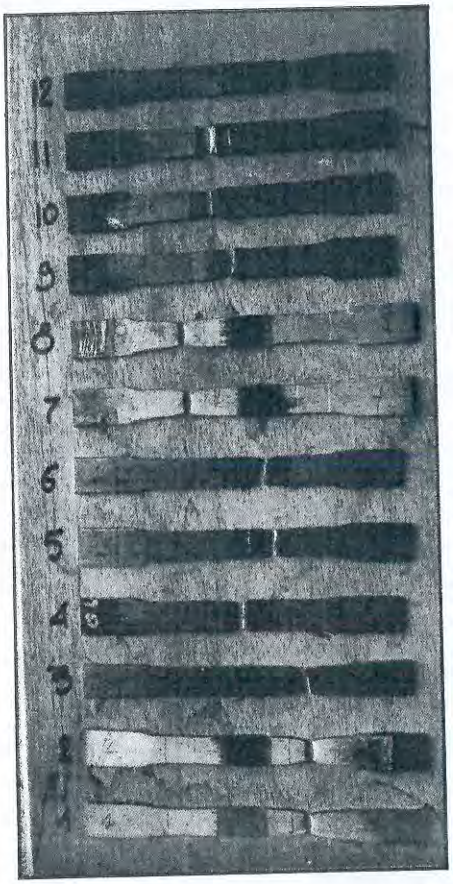


Photo C 9 : *Essais de rupture pour le choix de l'acier qui va servir à construire les Vulcain au chantier Brument.*

6

TRAITEMENTS A FROID ET A CHAUD DEFORMATIONS

CORROYAGE

Dans le but d'améliorer les caractéristiques mécaniques des aciers, les usines sidérurgiques leur appliquent un certain nombre de traitements, à froid ou à chaud.

Le métal est reçu au bas du creuset sous forme de coulée liquide, dans des bacs mobiles, appelés « *Poches* ».

Il est ensuite brassé dans des mélangeurs et coulé en lingots. La cristallisation au sein du lingot est incontrôlée. Elle se présente sous forme de grains plus ou moins gros en agrégat anarchique. Chaque grain présente l'aspect d'un monocristal.

Le laminage ou le forgeage, opérés à chaud, réorientent, refragmentent et resserrent les cristaux. Cette homogénéisation du métal est le corroyage. Il se mesure par le rapport de la section de départ (SD) à la section de l'ébauche (SE), obtenue par laminage ou par forgeage à chaud.

Coefficient de corroyage : $\frac{SD}{SE}$

Un coefficient élevé est le signe d'un acier très affiné, car il révèle le travail de cohésion effectué.

Mais le corroyage ne produit d'effet sur la cristallisation que dans le sens de l'opération de forgeage ou de laminage. Dans le sens opposé, les caractéristiques mécaniques sont très inférieures. Cette différence est appelée anisothropie. Elle est réduite par l'étirement effectué dans le sens opposé à celui de l'opération principale et avant que celle-ci ne soit faite. Par exemple, une tôle qui va être laminée dans le sens de la longueur de la brame est d'abord étirée dans sa largeur.

FIBRAGE

Le sens de la fibre confère à la pièce de meilleures qualités mécaniques. Il importe donc, d'une part, de « *fibrer* » la pièce dans le sens de sa future utilisation, et de l'utiliser, d'autre part, dans le sens de ses fibres comme on le ferait pour une pièce de bois. Notamment, il faut éviter de trop couper les fibres par des coupes transversales qui créeraient des amorces de rupture.

Il va de soi que je ne parle ici que de précautions à prendre pour des échantillonnages portés à leur limite inférieure, pour des raisons de gain de poids poussé à son maximum !

Dans l'ensemble des cas, c'est une notion intéressante à connaître, car elle est révélatrice de la « vie » des pièces de métal par analogie à cette qualité qu'on accorde sentimentalement aux pièces de bois. Fort heureusement, et à la différence du bois, un assemblage de pièces métalliques soudées reconstitue un tout totalement homogène. Ce qui ne peut en aucun cas être dit des pièces de bois collées et vissées, dont on sait que tôt ou tard chaque élément sera... épris de liberté !

Pour des ébauches réalisées par forgeage, et avant leur finition par usinage (villebrequins par exemple), un fibrage dispose les fibres dans le sens du travail, même si celui-ci est complexe. Les fibres parcourent le dessin de la pièce avec un minimum d'interruptions, donc un minimum d'amorces de rupture, qui seraient nombreuses si on découpait la même pièce dans la masse.

ECROUISSAGE

L'écrouissage est une déformation faite à froid sur le métal, ou en dessous de sa température de transformation cristalline.

Comme dans le corroyage, les caractéristiques mécaniques ne sont améliorées que dans le sens du travail. Il s'agit d'une déformation plastique de la structure du métal. Par exemple, un écrouissage par étirement du métal n'améliore que la résistance à la traction et la limite d'élasticité.

On applique à une pièce de métal un effort au-delà de sa limite d'élasticité E, jusqu'à un point R'. On arrête l'effort.

Comme on a dépassé le point limite où l'élasticité de l'acier fait que la pièce reprend son état initial après application d'un effort, la pièce revient à un état intermédiaire tel que la droite O'R' est parallèle à OE, module élastique initial. OO' est l'allongement permanent de la pièce d'acier. La nouvelle limite d'élasticité O'R' est plus grande que OE, mais aussi plus proche de la limite de rupture, qui intervient au point S.

La pièce est donc plus résistante à la traction, mais plus fragile !

Pour diminuer cette fragilité, on doit opérer un recuit. Le recuit retransforme la cristallisation de la pièce et la ramène vers ses qualités initiales, avec d'éventuelles ruptures de la chaîne cristalline, dues à des « *accidents* » du travail, soit d'écrouissage, soit du recuit.

Dans un formage d'un bordé de bateau, les tôles sont écrouies, donc durcies. Le soudage des tôles entre elles recuit la frange de métal chauffée de chaque côté de la soudure et le radoucit. En gros, cette frange est de 2 cm pour de l'inox marine, 10 cm pour de l'acier doux, 50 cm pour de l'aluminium, si on respecte une concordance d'échantillonnage en partant d'une nécessité de « *solidité* ». L'écrouissage concerne l'ensemble de chaque tôle, tandis que le recuit ne concerne que ses bords. Si bien que le centre des tôles ne possède plus les mêmes caractéristiques mécaniques, voire dimensionnelles que ses bords. On doit donc réchauffer le métal pour le détendre. Le travail du chaudronnier ne s'applique pas qu'à l'aspect dimensionnel du métal, mais aussi à sa cristallisation interne. C'est ce qui fait qu'il ne s'improvise pas ! Nous y reviendrons dans la mise en œuvre des métaux.

TRAITEMENTS THERMIQUES

Les traitements thermiques interviennent sur la structure moléculaire de l'acier. Il est bon d'en dire deux mots.

Le fer existe sous diverses formes cristallines, dites variétés « Allotropiques » :

- De 20° à 910°, les atomes du fer sont répartis aux angles et au centre d'un cube. C'est le fer α .
- De 910° à 1.390°, les atomes se répartissent aux angles et au centre d'un cube, et aux centres de ses faces. C'est le fer γ .
- De 1.390 à 1.530°, se retrouve la disposition du fer α mais avec une stabilité différente. C'est le fer δ .
- A 1.536°, le fer se liquéfie.

Voyez les dessins de ces dispositions atomiques.

Les étapes de cristallisation du fer s'étudient depuis l'état liquide vers l'état solide, donc de 1.536° vers la température ambiante, dans le sens du refroidissement. C'est en effet la vitesse de refroidissement qui est capitale dans les traitements thermiques, avec bien sûr la température maximum de traitement, le temps de maintien de cette température maxi, et la teneur en carbone.

Les grands types de traitements thermiques sont les recuits, la trempe, le revenu.

Ils se font à des températures clés de l'évolution moléculaire de l'acier.

1.536°		Etat liquide
1.390°		fer δ
910°		Austénite Fer γ
768°	Point A2	La ferrite devient amagnétique fer γ austénite + cémentite
720°	Point A 1	
20°		ferrite + cémentite

LE RECUIT

Son rôle est d'adoucir l'acier en atténuant ses durcissements intervenus par exemple lors des écrouissages, des laminages successifs. Il fait aussi disparaître des hétérogénéités de composition.

- **Recuit d'homogénéisation :** Il réhomogénéise le métal à des températures de 1.000 à 1.200° pendant quelques heures. Le refroidissement est à vitesse naturelle.
- **Recuit simple:** Chauffage à 720° (Point AI) pour transformer la ferrite en austénite, pendant 30 mn. Refroidissement très lent, dans un four. Ce recuit adoucit le métal.
- **Recuit de normalisation :** Chauffage à 960° (au-dessus du point A3), pendant une courte durée et refroidissement naturel. Le grain est affiné, et le métal plus régulier.
- **Recuit de coalescence :** Chauffage à moins de 720° (AI) et refroidissement naturel, pour adoucir les aciers très durs.
- **Recuit de restauration :** Chauffage entre 500 et 720°, pendant un temps assez long pour adoucir les tôles très écrouies et pour les rendre aptes à être embouties. Refroidissement sous contrôle.
- **Recuit de détente :** Chauffage entre 300 et 650°, pour résorber des déformations dues au soudage et éliminer des contraintes internes et localisées. C'est la « *chaude* » du chaudronnier qui détend les tôles après les avoir soudées. Je vous en parlais en fin de chapitre sur l'écrouissage. Ecrouie par les opérations de bordage de la coque du bateau, la tôle est durcie. Recuite par le soudage, elle est adoucie sur son pourtour. Il convient alors de ramener l'état du métal à plus d'uniformité de caractéristiques. Comme on ne peut pas l'écrouir en entier, on radoucit le « *centre* » de la tôle en la chauffant. Ces « *chaudes de retrait* » sont une des difficultés du chaudronnier.

La trempe

Refroidir très vite le métal emprisonne le carbone dans la structure cristalline et le durcit.

La température est portée entre 1.000 et 1.100°, pendant un temps permettant de stabiliser la structure austénitique.

Puis on refroidit le métal pour réaliser la structuration de martensité : structure cristalline sursaturée en carbone. La vitesse de refroidissement est fonction de la composition chimique de l'acier. Si elle est trop grande, il se produit des fisssures dites « tapures ».

Le bain de trempe est de l'eau, des sels, une solution saline, des huiles, des métaux fondus (plomb, zinc), des gaz ou de l'air.

La trempe peut être faite en tenant compte de l'épaisseur de la pièce pour :

- La tremper à cœur, les vitesses de chauffage et de refroidissement étant basées sur le « centre » du métal.
- **La tremper superficiellement :** on durcit alors plus la surface du métal que son centre, ce qui s'applique à des pièces destinées à fabriquer des engrenages par exemple.

Il est possible d'usiner des pièces à l'état recuit doux, et ensuite de les durcir par trempe. L'usinage est ainsi plus facile, use moins les machines et coûte moins cher.

Le revenu

Les aciers fortement trempés sont durs par leur teneur martensitique (carbone). Celà les rend cassants à cause de l'hétérogénéité de la composition fer + carbone et des tensions internes.

Chauffé à 100°, le carbone commence à s'échapper. A 300°, il se transforme en carbures fins, la cémentite (Fe3C). L'acier est déjà très adouci. Cette chauffe est le revenu, qui s'effectue immédiatement après la trempe, à la différence des recuits qui s'effectuent lors de travaux d'utilisation des pièces d'acier (soudage, etc.). Le revenu ne dépasse pas 700°.

TRAITEMENTS DE SURFACE

Des qualités des aciers courants (aciers de base et de qualité) sont la résistance à la rupture, la limite élastique, la dureté. D'autres sont la résilience, la malléabilité, la ductilité, l'aptitude au pliage. Ces qualités sont contraires.

Les caractéristiques mécaniques croissent avec la teneur en carbone, c'est-à-dire la martensite réalisée par la trempe et le refroidissement rapide. Les qualités de malléabilité vont aux aciers à faible teneur en carbone, aciers adoucis, peu ou pas trempants.

Les aciers au carbone sont les aciers durs.

Les aciers à bas carbone sont les aciers doux.

Des valeurs intermédiaires existent :

Acier extra doux	moins de 0,10 % en carbone
Acier doux	de 0,10 à 0,20 % C
Acier mi-doux	de 0,20 à 0,30 % C
Acier mi-dur	de 0,30 à 0,40 % C
Acier dur	plus de 0,40 % C

Si on veut à la fois une qualité de malléabilité et de dureté de surface, il faudra avoir recours à un traitement de surface.

La trempe superficielle

On chauffe rapidement la pièce, soit au chalumeau, soit par un courant électrique à haute fréquence, puis on la refroidit aussi rapidement. On répète l'opération plusieurs fois.

Cémentation

A des températures de 850 à 950°, la surface de l'acier est rendue perméable. A 900°, on applique sur la surface de l'acier un mélange sous forme gazeuse, pâteuse ou liquide, riche en carbone. Le carbone passe dans l'acier et le durcit superficiellement. Une température de 800° suffit pour des aciers alliés. Plusieurs trempes successives peuvent être réalisées.

Carbonitruration

La surface du métal est portée à 800°, comme précédemment. L'application de composants carbonés et azotés durcit la surface de l'acier. L'industrie automobile utilise couramment ce type de durcissement de surface. Les composants appliqués sont souvent un gaz d'oxyde de carbone + hydrogène + azote.

Nitruration

L'acier est porté à 525° C pendant quelques heures, voire quelques jours. On fait pénétrer dans la surface de l'acier l'azote qui provient du gaz ammoniac. La dureté de surface est de 40 % supérieure à la cémentation. Avec la résistance à l'usure, l'acier acquiert une résistance à la corrosion. Si la température de 525° ne suffit pas à déformer le métal, la nitruration amène un gonflement de la surface. Aucune trempe n'est nécessaire.

On applique ce traitement à des aciers au molybdène, chrome, aluminium.

Chromisation

On diffuse à la surface de l'acier du chrome dans le but de le durcir. Ce qui n'a rien à voir avec le dépôt électrolytique de chrome brillant ou chromatation.

Sulfinisation

C'est le soufre qui est diffusé sur la pièce préalablement cémentée ou nitrurée. Il arrive qu'on fasse suivre cette diffusion d'une application à chaud de MoS_2

FORMAGE A CHAUD

Lorsqu'on chauffe l'acier, sa structure cristalline se modifie. Il passe de l'état solide à l'état pâteux, puis liquide. Ce qui est le cas de la plupart des métaux.

La malléabilité de l'acier augmente avec l'approche de sa fusion, et, plus simplement, avec son augmentation de température.

Le formage à chaud de l'acier vise à faciliter sa mise en œuvre tout en conservant sa cohésion moléculaire. Les diverses opérations de formage à chaud s'effectuent entre 850 et 1.100° C.

Par pressions successives, y compris la frappe, on reforme une organisation cristalline affinée et orientée dans un sens privilégié. C'est le fibrage. Nous avions déjà décrit cette opération pour les alliages d'aluminium.

L'acier étant particulièrement fragile entre 200 et 350° C, fragilité dite « *au bleu* », on évite de le travailler à ces températures. La chauffe doit être contrôlée minutieusement, à l'aide d'un pyromètre (dans l'industrie) et la totalité de la masse d'acier à travailler doit être portée à la même température.

Ces méthodes de travail à chaud sont l'emboutissage à chaud, le matriçage, l'estampage et l'étampage, le forgeage.

La construction navale utilise quelques-unes de ces techniques sur de petites masses d'acier, par exemple pour le travail des ancres, des pales d'hélices et de petites pièces d'inox. Ces techniques sont également utilisées pour les alliages d'aluminium, comme nous l'avons déjà vu.

Forgeage

C'est la mise en forme grossière d'une masse d'acier à chaud, en général par frappe, parfois à la presse.

Le forgeage qui ébauche la forme doit se rapprocher des dimensions finales de la pièce qui sera ensuite usinée, pour réduire le temps de l'usinage au minimum nécessaire.

Dans l'atelier de forgeage, le four doit être à proximité immédiate de l'enclume ou de la presse.

Tout ce que vous devez savoir se trouve dans les Hors-Série. L'actualité technique se lit dans le mensuel. Abonnez-vous. L'un et l'autre sont indispensables à une bonne connaissance de l'architecture et de la construction navales.

Les instruments artisanaux de forgeage, ceux qu'utilisent les chantiers navals, même s'ils se disent « *industriels* » sont au maximum des marteaux-pilons à air comprimé, des martinets, des marteaux rapides. L'industrie, elle, met en œuvre des presses de 6.000 à 15 ou 20.000 tonnes.

Matriçage

Ce travail s'applique à la réalisation de petites pièces d'acier. Il consiste à comprimer à la presse une ébauche entre la partie mâle et la partie femelle d'une matrice. On travaille ainsi des pièces de moteur, de transmission. C'est un travail de précision.

Estampage étampage

L'estampage est le pressage d'une ébauche entre deux parties, mâle et femelle, pour l'amener à des dimensions proches des dimensions finales.

C'est en quelque sorte un forgeage mécanique de précision entraînant un fibrage du métal. L'estampage est suivi d'un usinage.

L'étampage est un estampage précis sur des barres rondes, les amenant à des formes prismatiques longues.

L'un et l'autre sont obtenus par les chocs successifs d'une masse lourde tombant sur une partie fixe donnant la forme. Cet outil est appelé mouton.

Emboutissage

C'est une technique industrielle peu ou pas utilisée en industrie navale, à cause du coût du matériel. Cet investissement, et le trop petit nombre de pièces commercialisées (quelques centaines) met l'objet transformé à un prix supérieur à ce qu'on obtient par des techniques simples en polyester. On pourrait pourtant par cette méthode construire de petits bateaux, depuis le dériveur léger jusqu'à des unités de l'ordre de 7 à 7, 50 mètres, surtout en alliage d'aluminium.

L'emboutissage à chaud, comme l'emboutissage à froid, est la mise en forme de tôles minces ou épaisses, entre les parties mâle et femelle d'une presse hydraulique ou mécanique.

On fabrique ainsi des bouteilles à gaz et beaucoup de pièces d'automobile.

FORMAGE A FROID

Avec une malléabilité moindre du métal, le formage à froid apparaît comme une transformation plus difficile de l'acier. Les opérations étant moins complexes, c'est pourtant dans ce chapitre qu'on trouve les méthodes les plus fréquemment utilisées en construction navale.

Les opérations de formage à froid n'entraînent pas, ou peu, de pertes de métal. Elles provoquent l'écrouissage du métal, qui améliore sa résistance mais augmente sa fragilité. Si bien que le formage à froid est souvent suivi d'une technique de recuit.

Laminage fin

Le laminage de précision est l'affinement de feuillards entre des rouleaux, à froid.

Plusieurs états d'écrouissage et de traitement sont obtenus et l'aspect de surface, comme l'épaisseur, sont très minutieusement mesurés et contrôlés.

Ce travail, industriel, est effectué dans des laminoirs.

Les feuillards mesurent en général de 0,40 à 0,50 m de large pour 0,05 à 0,5 mm d'épaisseur. La précision du laminage est de l'ordre du centième de millimètre.

Cette technique permet d'obtenir des feuilles utilisées en carrosserie d'automobiles, de machines, en emballage, industrie du cycle, textile, armement, etc.

Etirage tréfilage

Deux autres transformations industrielles de produits marchands.

L'étirage est la réduction de section de barres de 4 à 80 mm de côté. L'étirage, le dressage et le polissage sont effectués après décapage et décalaminage du profilé marchand.

On fabrique ainsi des barres rondes ou polygonales pour décolletage et production de boulons, tiges filetées, etc.

Le tréfilage est une technique similaire permettant la fabrication de fils industriels de 0,3 à 6,3 mm de diamètre ou de côté. Fils ronds ou polygonaux. On en fait des rayons de cycles, des vis, rivets, boulons, tringles de transmission et de pneumatiques, clouterie, chaînes, câbles. L'industrie du tréfilage de fils d'acier inoxydable fournit beaucoup d'articles à la construction navale.

Pliage

On aborde là des opérations directement transformatrices de produits marchands (feuilles, feuillards, tôles et profilés) en parties de structure ou de bordage des bateaux.

On distinguera le pliage par des machines à galets relevant une partie du métal et formant un pli le long d'une mâchoire, technique qui permet de plier de grandes longueurs (ou largeurs !) de tôles, méthode industrielle. La méthode suivante est utilisée par les chantiers navals.

Cette seconde méthode s'adresse à des petites séries de pièces. Les machines sont des presses plieuses à mâchoire ou à tablier basculant, limitant par leur largeur même la longueur du pli à 2 à 4 mètres en général.

La plupart des plieuses sont dites « presses-plieuses », hydrauliques. Entre les profils mâle et femelle de la mâchoire, elles plient par écrasement.

D'autres plieuses dites *« à tablier »* possèdent une mâchoire immobilisant le métal, tandis qu'un plateau bascule et donne l'angle du pli.

On fabrique ainsi des varangues, tôles de cockpit, bords de roofs s'ils sont droits, et toutes pièces à bords droits telles que coffres encastrés, descentes, supports de panneaux de ponts, ouvertures de coffres de cockpit...

Cintrage roulage

Les techniques de cintrage de tubes et profils ne sont pas très différentes de ce que j'ai décrit pour les alliages d'aluminium. Je vous invite à vous y reporter, notamment pour les différents types de cintreurs de tubes.

De même le roulage qui, à la différence du pliage vise à déformer le métal sans créer d'angle ni arête.

Le roulage à rouleaux cylindriques produit des portions de cylindres roulées dans leur largeur, perpendiculairement à leur axe longitudinal. Le roulage à olives se fait parallèlement à l'axe longitudinal.

Voyez là aussi la description de ce travail dans le chapitre sur les alliages d'aluminium. Une grande différence réside dans la dureté de l'acier qui implique moins de précautions pour préserver la surface des tôles. Egalement le fait que les rouleaux et les olives soient en acier, fer ou fonte, de même que les tôles et profils à traiter, n'implique pas que leur aspect de surface soit absolument net de traces de rouille.

Par contre, il faudra être plus précautionneux dans le travail de tôles ou profilés pré-peints, de façon que la peinture ne soit pas abîmée.

Je précise d'ores et déjà que, pour la fabrication professionnelle de bateaux, l'emploi de tôles revêtues d'une épaisseur de peinture de protection (et non d'une laque de finition ou rilsanisées) se révèle globalement comme une excellente chose. D'autant que la dureté de cette prépeinture permet de travailler les tôles et profilés avec vraiment un minimum de précautions ! On évitera des outillages trop rouillés ou blessants par des pointes ou des arêtes en très mauvais état et sous des pressions importantes. Mais comme ces tôles seront de toute façon dégraissées avant que le reste de la gamme de peintures leur soit appliqué, la propreté de l'outillage n'est pas un problème. Nous y reviendrons dans les chapitres sur la peinture.

Molette

L'obtention de rebords circulaires, en bord de vase se fait sur une machine dite molette, ou sur un tour par repoussage du métal.

Emboutissage

Cette technique à froid appelle les mêmes descriptions et les mêmes réserves que lorsqu'elle est appliquée à chaud.

Si elle est courante en industrie automobile, fabrication de capotage de machines, elle est inexistante en construction navale, du fait des coûts impliquant son amortissement par de grosses séries de pièces identiques.

En valeur absolue, on peut dire cependant que l'emboutissage à froid met en œuvre des efforts plus importants ou permet de réaliser des formes moins profondes ou moins compliquées avec des efforts identiques qu'à chaud. L'outillage doit être plus important pour l'emboutissage à froid que pour l'emboutissage à chaud où le métal est plus malléable.

Avant d'être valable pour l'acier, cette technique le serait pour l'aluminium le jour où les quantités à fabriquer seront suffisantes...

MARTELAGE MANUEL

Cet ouvrage ne peut bien sûr pas prétendre être un précis de chaudronnage. Y décrire les opérations mécaniques ou manuelles est déjà prendre conscience du travail et comprendre la nécessité de formation professionnelle qui doit accompagner l'ouverture d'un chantier naval professionnel ou amateur.

Le martelage à la main est, dans la tradition, le point d'honneur du chaudronnier de métier.

A partir du flan, feuille ou tôle plane d'origine, des techniques permettent au chaudronnier d'obtenir la forme voulue. Les deux principales opérations sont l'emboutissage et la rétreinte.

La rétreinte

Est la réduction de dimensions de la pièce par un martelage, en général porté du centre de la forme vers l'extérieur. On procède par passes successives. Les coups sont dits portants. La rétreinte ne s'accompagne pas d'une modification de l'épaisseur.

L'emboutissage

Au contraire de la rétreinte, va vers un accroissement des dimensions superficielles de la pièce. Il s'accompagne d'une diminution de l'épaisseur. L'opération est faite aussi par passes successives. Le flan est appuyé en porte-à-faux sur une enclume ou une *« salière »*. L'emboutissage manuel, comme mécanique, écrouit le métal.

Cette technique peu utilisable pour des pièces de petit rayon et profondes est donc valable en construction navale pour le bordage de bateaux en formes, des formages de bords d'attaque courbes de quilles, dérives, ailerons de gouvernail.

Cette technique est aussi utilisée pour réparer les mêmes formes après un accident.

Le dressage

Cette opération s'effectue dans divers cas :

- préparation d'une feuille ou tôle en vue de sa future mise en forme ;
- de rattrapage de déformations d'une feuille ou tôle avant de lui redonner la forme recherchée.

C'est donc un travail de préparation. C'est une opération de précision réservée à un ouvrier très qualifié ou expérimenté. On peut aussi dresser une tôle sur une machine à traction.

Le planage

C'est, au contraire du dressage, une opération de finition, tout aussi précise et délicate.

Contrairement à son nom, le planage ne consiste pas à mettre une tôle à plat, mais c'est la finition de la forme qui lui donne son aspect définitif et sa surface aussi parfaite que possible, que ce soit un plan ou une courbe, voire une sphère.

Le travail se fait depuis le centre de la pièce vers l'extérieur en procédant à coups très réguliers et droits. Ces coups ne doivent pas marquer le métal. Les passes sont successives et se recouvrent partiellement, concentriquement et non en spirale. L'allongement du métal doit rester faible. Le planage écrouit le métal. Il lui donne une bonne résistance aux déformations et aux chocs.

Il existe des machines à planer, composées de rouleaux disposés en quinconce, au nombre de 5, 7, 9, 15 ou 23. Ces rouleaux sont réglables selon la forme désirée. Ce peut être des jeux d'olives.

USINAGE

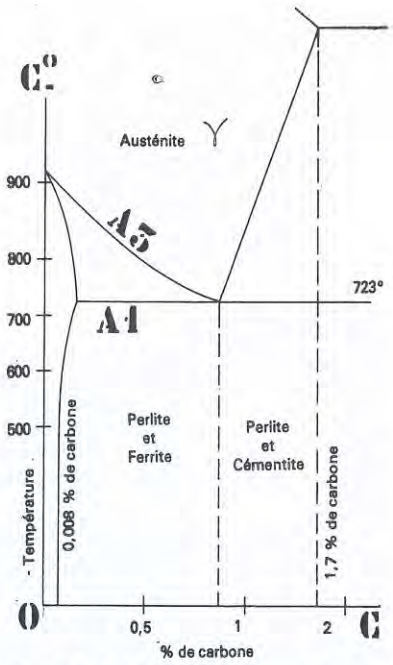
L'usinage est l'obtention finale des dimensions définitives d'une pièce métallique, avec ou sans enlèvement du métal. **Ce résultat est obtenu par une des opérations suivantes :** perçage, rabotage, fraisage, tournage, alésage, filetage, taraudage, rectification, ajustage.

Suivies d'une finition d'aspect.

Rabotage

Cette opération apporte la réalisation de surfaces planes. Le travail de la raboteuse se fait dans le sens aller, le retour, à plus grande vitesse, n'enlevant pas de métal.

Les machines utilisées sont la raboteuse, l'étau-limeur. Manuellement, ce sont les opérations de limage.



Croquis C10 : ***Aciers au carbone : Composition d'un acier depuis la température 0° jusqu'à sa fusion, en fonction de sa teneur en carbone.***

Tournage

Le tournage permet d'obtenir des cylindres, cônes, sphères et toutes formes dites « *de révolution* ». Il permet le filetage, ainsi que la reproduction à l'aide d'un doigt guide, de formes déjà réalisées. Il existe des tours à fileter, à reproduire, à décolleter, à outils multiples. Les tours sont à banc continu, à banc rompu, en l'air, ou verticaux.

Fraisage

Un outil rotatif, la fraise, qui peut se déplacer dans le sens d'un axe vertical, être placé horizontalement ou être incliné, attaque une pièce de métal qui se déplace horizontalement dans tous les sens. Il existe une grande variété de fraiseuses, selon leur fonctionnement, dont les machines à fabriquer les engrenages.

Le fraisage est une technique qui commence à être employée dans certaines réalisations de pointe, bateaux de course, de la construction navale. Il est courant en aéronautique. Je vous en parlerai plus loin dans les techniques qui postulent pour l'avenir. Diverses zones du *Pen Duick 7*, dit *Paul Ricard*, de *Tabarly*, ont ainsi été traitées. J'avais ainsi fait profiler la tôle d'aluminium qui constituait le voile de quille de *Spanielek*, second de la Mini Transat en 1977.

Perçage

Les perceuses, sur châssis, permettant de réaliser des trous cylindriques. Le foret se déplace verticalement, perpendiculairement à la surface à percer. Il perce par sa partie non centrale et présente des évidements hélicoïdaux, pour éliminer les copeaux.

Les perceuses sont dites à colonne (verticales), radiales (horizontales), sensitives lorsqu'elles pivotent, montent et descentes.

Le perçage peut aussi être fait à la poinçonneuse.

Des percements ovales sont réalisés à la poinçonneuse ou avec des outils emporte-pièce. Les percements ovales en bord de pièce sont appelés grugeages.

Le terme « mèche » remplace le terme « foret » pour le travail du bois.

Alésage

C'est l'opération qui sert de finition au perçage en polissant la paroi intérieure du trou fait à la perceuse. Cela permet aussi de finir l'entrée du percement par le logement de la tête de vis.

Filetage et taraudage

Ces opérations permettent d'obtenir le filet d'une vis : filetage ; et le filet du troup percé pour recevoir une vis : taraudage ; le filetage est donc le travail extérieur, le taraudage le travail intérieur.

Des machines dites filières et tarauds sont manœuvrées par des « tourne-à-gauche ». Maintenant, les filières sont remplacées par des peignes qui se déplacent en avant de la partie à fileter. Pour obtenir des filets de grande section, on se sert de tours.

On obtient aussi des filetages par travail à la molette. Le métal est refoulé, à froid, par la molette.

Rectification

La finition s'opère par un outil qui ne tranche pas le métal, comme le ferait, par exemple, un rabot qui enlève des copeaux, mais par une abrasion à la meule.

Les types de meules sont nombreux et s'adaptent sur chacune des machines citées précédemment pour assurer la finition de l'opération qu'elles effectuent initialement.

Si la plupart des machines précédentes travaillent sous lubrification à l'huile ou à l'eau, les meules travaillent à haute vitesse et à sec.

Ajustage

C'est une opération manuelle qui vise à parfaire les dimensions de la pièce usinée. Cette opération n'existe pratiquement plus en industrie. En construction navale, elle est encore fréquente. Mais elle est tout aussi fréquente dans les artisanats de précision, par exemple, le pré-rodage des cylindres de motos ou voitures de compétition.

Une grande partie de ces opérations peut être automatisée pour le travail en série. Cette automation, par couplage de mémoires d'ordinateur et d'une machine permet la lecture ou la transcription d'un plan à une « *extrémité* » de la machine, et l'exécution du travail à l'autre « *extrémité* », puis la répétition infinie de cette suite d'opérations. Sans aller jusqu'au robot complètement automatique une fois programmé, on emploie des machines couplées à des lecteurs pour le fraisage et d'autres opérations, dans quelques rares chantiers. On découpe ainsi des tôles avec des oxy-coupeurs au plasma. On obtient aussi de cette façon les formes des maquettes d'essais de bassins de carènes, tels le bassin du boulevard Victor à Paris.

Les opérations de contrôle des résultats sont absolument indispensables.

Elles doivent être faites par le constructeur, qu'il soit professionnel ou amateur, par un pré-montage. Cette vérification précède la livraison ou le déplacement du bateau hors de l'atelier.

Imaginez un propriétaire qui essaie de mettre en place le gouvernail de son bateau, à Marseille, alors que le chantier se situe dans le Nord de la France et que la mèche se révèle trop grosse ! Le constructeur doit donc vérifier que l'usinage a été bien fait. Je conseille aussi au client de vérifier lui-même ce type de détail avant de faire enlever son bateau. Cela ne blesse aucune susceptibilité et évite d'inutiles dépenses et des pertes de temps qui ne peuvent conduire qu'à de la mauvaise humeur !

Le contrôle de qualité est plus délicat et peut s'effectuer poste par poste. Pour des bateaux très spéciaux réalisés à l'unité, il peut être procédé à des essais sur échantillons avant d'arrêter définitivement le choix d'une nuance du métal. Ces essais sont dits de traction, de dureté, de résilience, de pliage, de fatigue, de fluage.

Seuls les quatre premiers sont facilement envisageables. Si un client les désire, il devra bien sûr en convenir avec le constructeur en temps utile, et commander ces essais à un organisme capable de les exécuter. Ce peut être le fournisseur des tôles et profilés, etc.

Pour des bateaux de type courant et fabriqués à plusieurs unités, il n'y a guère que les soudures qui seront vérifiées à l'aide d'une des nombreuses méthodes possibles. Pratiquement, seul le *ressuage* est utilisable facilement pour un bateau construit, dans l'atelier, sans autre transport ni intervention onéreuse. *(Croquis C 10).*

7

MISE EN ŒUVRE DE L'ACIER, OUTILLAGE

GENERALITES

L'acier est un des matériaux les plus utilisés parce que c'est un matériau qui admet le mieux les transformations. Du bâtiment à l'informatique, de l'électroménager à l'aéronautique, l'acier nous entoure.

Une fois déterminé l'objet à construire, par son architecte, se pose au constructeur la question de le réaliser. On comprend bien alors que le constructeur ne doit pas trahir l'architecte en réalisant mal son travail. Mais tout autant, l'architecte doit connaître les difficultés de la mise en œuvre pour proposer aussi « *facile* » que possible dans la mesure des exigences.

Je vous donne ci-après des indications générales de mise en œuvre avant d'aborder la construction navale à proprement parler.

TOLERANCES

La construction navale est un type unitaire, c'est-à-dire qu'elle n'emprunte pratiquement rien aux méthodes modernes de travail en série. Si on considère que le terme s'applique ne serait-ce qu'à quelques centaines de pièces découpées ou formées automatiquement ensemble. Dans ce cas, les ajustages à l'unité sont exclus et on convient, pour assembler des pièces sans risque de devoir y revenir, d'appliquer à leur traçage et à leur formage des tolérances normalisées.

Voyez-en le schéma de codification.

Ces tolérances sont une garantie contre le risque que deux pièces produites industriellement et calculées « *trop juste* » ne s'adaptent pas bien et nécessitent des retouches qui annuleraient le principe de production industrielle. Introduire ces « *tolérances* » dans l'industrie de plaisance, bien qu'elle ressorte plus de l'artisanat que de la série, est souvent pour celui qui sait le faire un gage d'importante économie qui peut contribuer à abaisser le prix de la construction.

Par rapport à la cote nominale, une tolérance en plus et en moins s'écrit A± a ; une tolérance en plus s'écrit A + a— O ; une tolérance en moins s'écrit A + O—a.

TRAÇAGE

Les cotes de découpe à tracer sur la pièce à transformer, tôle ou profilé, sont portées à l'aide des instruments suivants lorsqu'il s'agit de travail à l'unité ou en petites quantités quotidiennes : réglets métalliques gradués de 0,50 m à 2 m ; pieds à coulisse, équerre, trusquin, pointe à tracer au carbure de tungstène, compas à pointes sèches au carbure. Les points importants sont marqués définitivement d'un coup de pointeau au carbure. Des feutres permettent de tracer sur des tôles sans les abîmer, mais ne peuvent guère convenir pour des découpes précises à cause de la largeur du trait déposé. Pour tracer des ébauches ou améliorer la lisibilité d'un tracé fait à la pointe dure, on peut utiliser ces feutres ou des tubes à tracer munis à leur ouverture d'une grosse bille et qui contiennent une encre pâteuse indélébile.

TRONÇONNAGE

La coupe de profilés et méplats s'appelle le tronçonnage. Il se fait artisanalement à la scie à main avec une lame pour métaux ferreux ou au disque à tronçonner sur une tronçonneuse à main ou en fixant cet outil sur un châssis.

On utilise aussi des scies circulaires ou alternatives, à dents ou sans dents. Ces scies sans dents coupent le métal en le « *fondant* » par le frottement.

Industriellement, on utilise l'oxycoupage décrit plus loin.

DECOUPAGE

Si le tronçonnage s'applique aux profilés, le découpage est le terme qui s'applique aux tôles. Il se fait au moyen de cisailles à guillotine, qui permettent aussi de chanfreiner. Larges usuellement de 2 à 4 m, elles équipent les serrureries et chaudronneries.

On y utilise aussi des grignoteuses sur bâti pour les découpes de courbes. L'artisan peut utiliser des grignoteuses à main.

OXYCOUPAGE

On appelle ainsi la découpe de tôles ou de profilés au moyen d'une flamme de chalumeau alimentée par un gaz combustible et de l'oxygène. Ce chalumeau peut être automatique ou manuel. Ce procédé permet de découper une pièce ou une pile de pièces d'après un schéma intégré dans la mémoire d'un outil automatique informatisé.

L'oxygène se combine avec le fer de l'acier chauffé fortement. Le métal brûle et produit des scories composées d'oxydes de fer. Le gaz combustible est du propane ou de l'acétylène. Le chalumeau est dit oxypropane ou oxyacétylénique. La température de fusion est de l'ordre de 1.200°C soit moins que la température de fusion de l'acier. Les scories (fer et oxygène) sont découpées par le dard qui les produit en deux opérations simultanées (oxydation et chauffe) tout en laissant des bords nets. La tête du chalumeau présente deux ouvertures, une pour l'oxygène (oxydation), l'autre pour la flamme

chauffante (propane par exemple). Les deux sorties sont réglables. Le jet d'oxygène est commandé par un robinet permettant d'arrêter l'oxydation pendant la chauffe préalable.

La découpe est perpendiculaire ou à chanfrein selon le besoin. Le bec du chalumeau est positionné par des roulettes de 2 à 3 mm de largeur.

Voyez dans le tableau suivant les indications de coupe et de pression d'oxygène.

Epaisseur à découper en mm	Diamètre de l'orifice de coupe en mm	Pression d'oxygène en bars
5	0,6	1 à 2
10	1	1,25 à 2,5
20	1	2 à 3,5
30	1,5	3 à 4,25

L'OUTILLAGE MINIMUM POUR CONSTRUIRE UN BATEAU EN ACIER

Voici une liste du matériel minimum nécessaire à un artisan ou un constructeur individuel pour mener à bien la construction d'une coque pontée. Dans les chapitres sur la mise en œuvre de l'acier, vous trouverez d'autres indications de machines et outillages qui complètent cette liste.

Photo C 13 : *Détail de construction à clins, dans les années 70, chez Méta.*

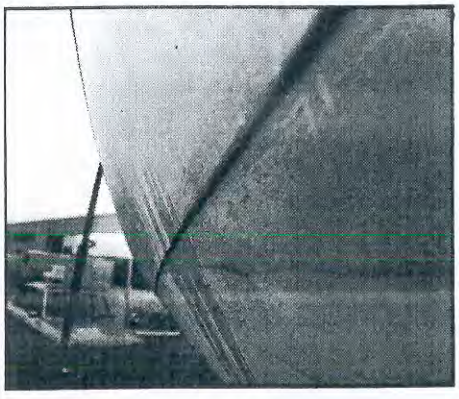
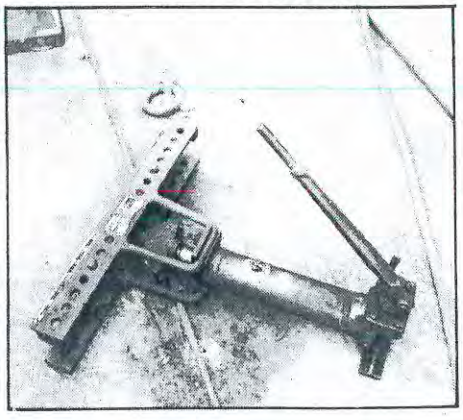


Photo C 14 : *Cintreuse légère pour tubes.*



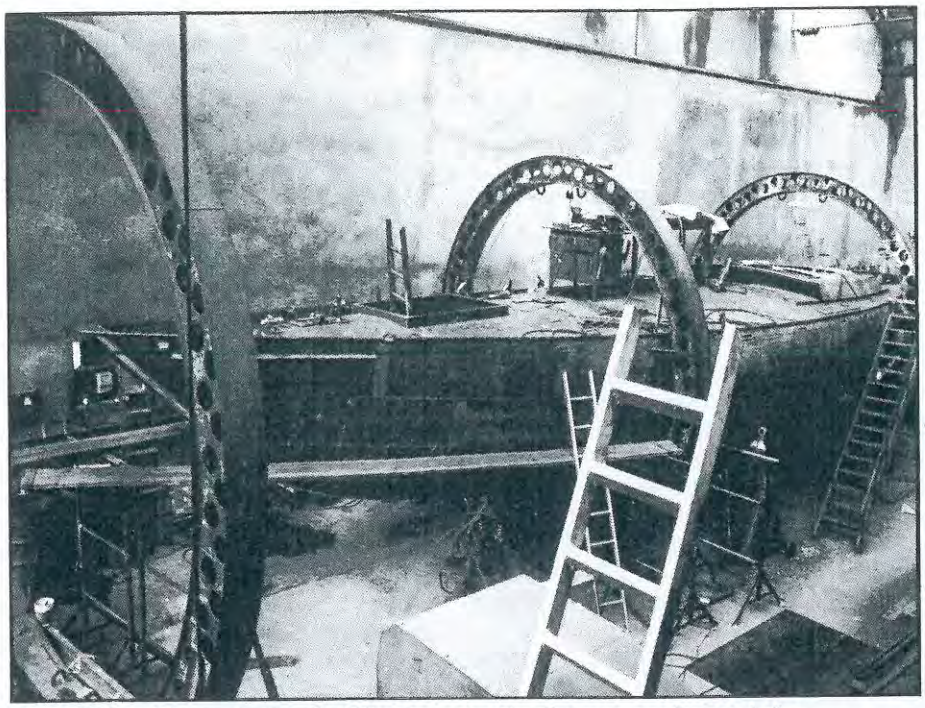
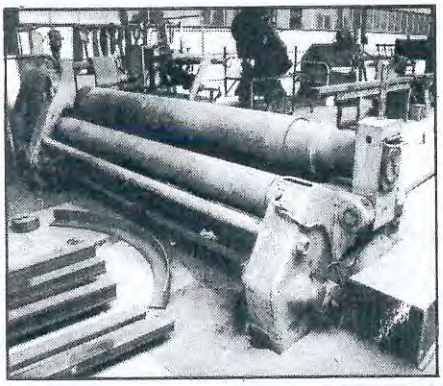


Photo C 12 : *« Vireurs » au chantier Méta, et construction d'une coque en formes, à clins.*

Photo C 16 : *Masque à fenêtre s'ouvrant.*



Photo C 15 : *Rouleuse à cylindres.*



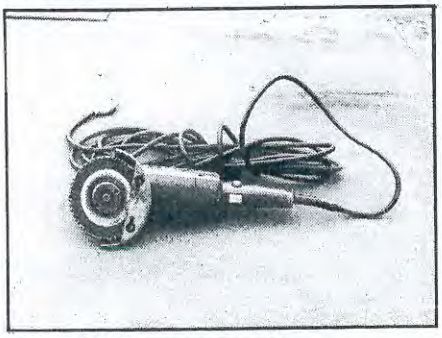


Photo C 17 : *Meuleuse rotative.*

- Poste de découpage oxypropane ou oxyacétylène. Avec deux bouteilles, deux manomètres-détendeurs, du tuyau double, un chalumeau de coupe, un chariot de transport.
- Poste à souder à l'arc. Par exemple Safarc 160 qui passe sur deux gammes d'intensité 30 à 40 ampères et réglage progressif et non réglage présélectionné sur un certain nombre de puissances.

Pince de masse, pince porte électrode, câblage.

Casque, lunettes, gants, masque à main...

- Ebarbeuse à disques. Disques minces pour tronçonner, disques épais pour meuler, brosses rotatives, etc.
- Pinces étaux.
- Serre-joints.
- Etau d'établi de grosse capacité.
- Perceuse lente : 600 tours/mn. Capacité de perçage supérieure à 10 mm. Forets au carbure de tungstène. Scies cloches.
- Marteaux de chaudronnier pour les différentes activités, dresser, former, etc.
- Touret à meuler les coins.
- Cintreuse à profilés qu'on fabrique avec un cric.
- Cintreuse à tubes.
- Chalumeau de chauffe.
- Grignoteuse à main.

En outre, on peut s'équiper de ces outils ou machines.

- Scie sauteuse coupant 5 mm d'acier avec lames HSS.
- Scie ruban.
- Scie rotative à moins de transformer une meuleuse.

● Rouleuse cylindrique de largeur 2,3 à 4 m.

● Rouleuse à olives avec jeux d'olives pour formage des tôles.

● Martinet à former.

● Grignoteuse sur châssis et grignoteuse à main.

● Tour.

● Perceuse sur bâti, simple, orientable, multiple.

● Presse plieuse de 2, 3 ou 4 mètres.

● Guillotine de 2, 3 ou 4 mètres.

Ainsi que l'indispensable portique mobile ou le pont roulant. Un portique avec palan à chaînes de 500 kg pour le bordage ; 1.000 kg pour gruter la quille ; 5.000 kg pour retourner et soulever un bateau de 12 mètres. Un pont roulant de 5 à 10 tonnes. Je précise aussi le matériel de traçage sur l'acier.

● Pointes à tracer au carbure, très dures.

● Réglets de 1 à 2,50 m, voire 3 m.

● Décamètre ruban.

● Equerre et fausse équerre de 600 x 1.000 mm.

● Compas pouvant s'ouvrir de plus de 50 cm à pointes sèches.

● Peintures-apprêt pour table à tracer.

● Marqueurs à bille ou feutres indélébiles pour noter des indications sur l'acier.

● Pointeaux.

● Lattes souples et charges pour tracer en grandeur les courbes d'un nouveau bateau. Les lattes peuvent être en bois souple (15 x 20 x 2.500 à 3.500), en aluminium en L de 15 x 20 ou 20 x 25, en acier doux ou inoxydable de 15 x 20. Il faut une dizaine de charges en plomb ou acier de 10 kg chacune.

● Règles parfaitement droites et rigides en aluminium, dans du profilé tube rectangulaire creux de 15 x 100 environ en longueurs de 2,50 à 6 m. Ceci pour tracer des droites parfaites.

Je rappelle aussi qu'on peut opter pour deux solutions quant au soudage.

● Poste passant 80 à 100 ampères pour pointer le bateau en baguettes de 2,5 ou 3,2. Puis on loue un poste plus puissant pour les cordons continus, ou on en confie l'exécution à un professionnel.

● Poste de 160, voire 200 ampères pour l'ensemble du travail avec des baguettes de 1,6 à 5 mm.

● Pour soudage, des aciers, à l'arc.

Equipements facultatifs :

● Boîtier de commande à distance avec potentiomètre incorporé, livré avec 10 ou 25 mètres de câble de raccordement.

● **Jeu d'accessoires comprenant :**

● câble de soudure

● câble de masse

● câble d'alimentation

● pince porte-électrode

● pince de masse

● marteau à piquer

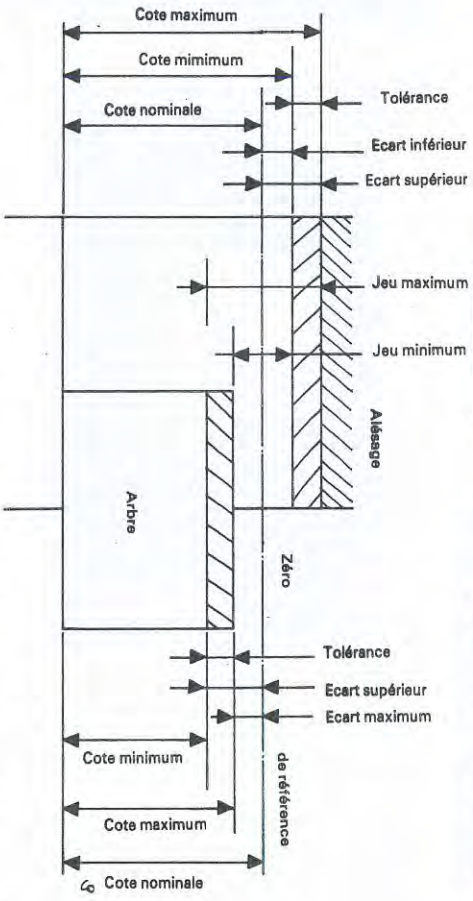
● brosses

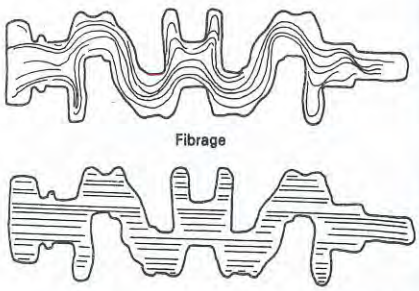
● écran avec verres de protection

● gants.

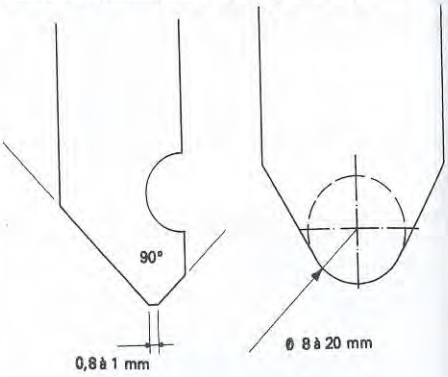
(Photos C 12 à C 17, croquis C 11 à C 22).

Croquis C 11 : ***Dimensions théoriques, réelles, tolérances et écarts.***





Croquis C 12 : ***Fibrage d'un vilebrequin par opposition à son découpage dans une pièce sans intervention sur le sens de la fibre.***



Croquis C 13 : ***Poinçons de pliage***
A = Pour tôles de moins de 6 mm
B = Pour tôles de plus de 6 mm

TRANSFORMATEURS REDRESSEURS TRIPHASES
Caractéristiques techniques

	TE 200	TE 320	TE 450
Alimentation triphasée 50 Hz	220 V - 380 V	220 V - 380 V	220 V - 380 V
Consommation primaire maxi.	34 A - 20 A	64 A - 36 A	90 A - 52 A
Consommation primaire à vide	2 A - 1,3 A	2,3 A - 1,3 A	2,5 A - 1,5 A
Tension à vide	60 V	70 V	70 V
Intensité de soudage	7 à 210 V	7 à 320 A	7 à 450 A
Coefficient d'utilisation multihoraire	60 % à 160 A	60 % à 300 A	60 % à 400 A
Dimensions hors-tout (en mm)	H = 850	I = 720	L = 1.075
Poids	217 kg	250 kg	306 kg

8

ASSEMBLAGES

Assembler plusieurs pièces est leur donner une cohésion pour qu'elles forment un ensemble homogène, possèdant les caractéristiques dimensionnelles et mécaniques recherchées.

Il existe des assemblages rigides et des assemblages articulés.

Les assemblages articulés ne peuvent admettre que des efforts de traction. C'est, par exemple, le cas d'un émerillon de poulie.

Les assemblages rigides doivent, au contraire, satisfaire à un grand nombre de contraintes.

Les méthodes d'assemblages sont les suivantes :

● rivetage ;

● boulonnage ordinaire ou à haute résistance (H.R.) ;

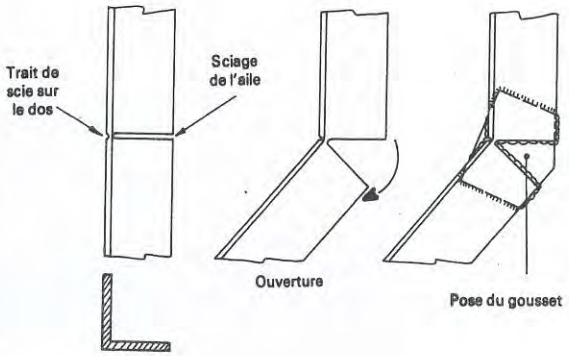
● soudage ;

● collage (je n'aborderai cette technique qu'à la fin de cet ouvrage.

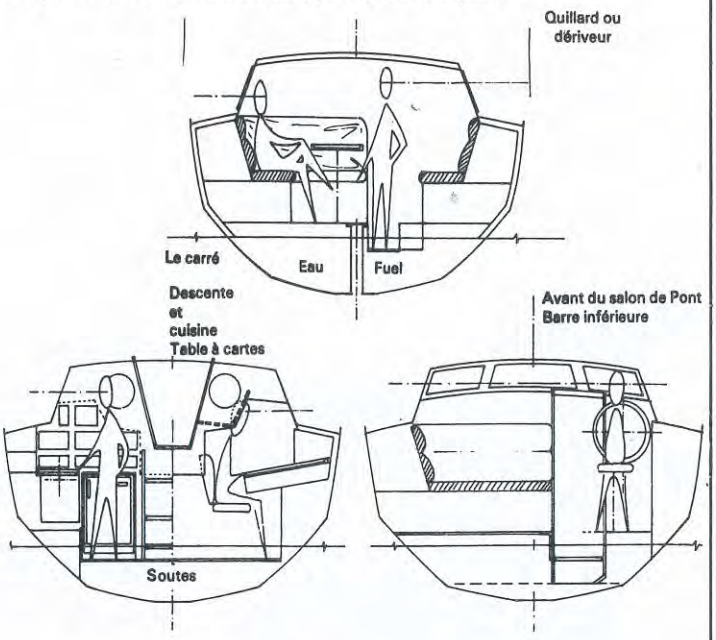
RIVETS

Le rivetage de l'acier est classique puisqu'il permettait les premières constructions navales. Ces constructions, après trente ans, sont encore parfois en service !

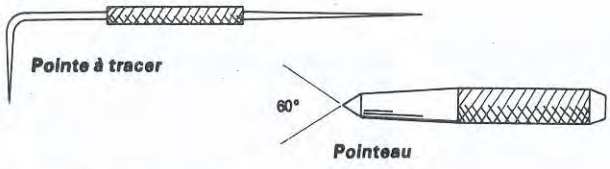
Croquis C 14 : *Pliage d'une membrure en cornière.*



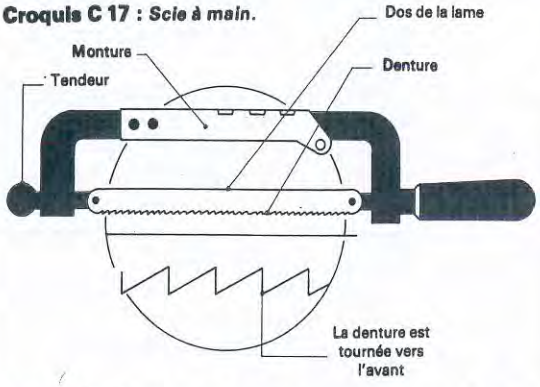
Croquis C 15 : *Un, parmi des exemples de salon de pont.*

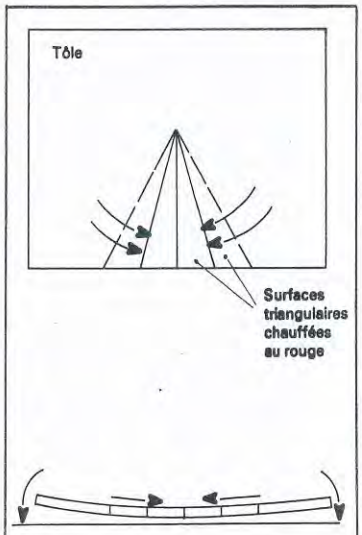


Croquis C 16 :

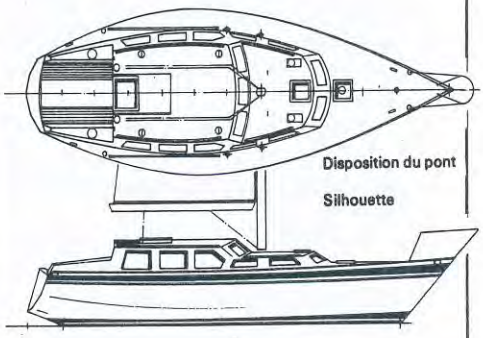


Croquis C 17 : *Scie à main.*

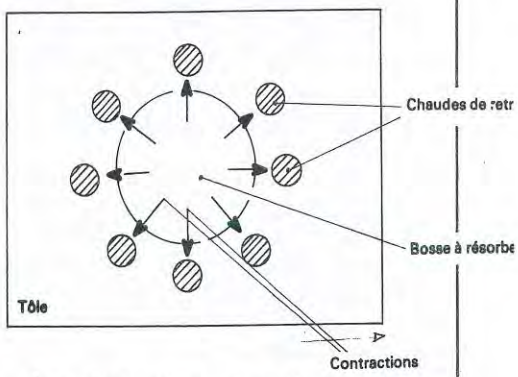




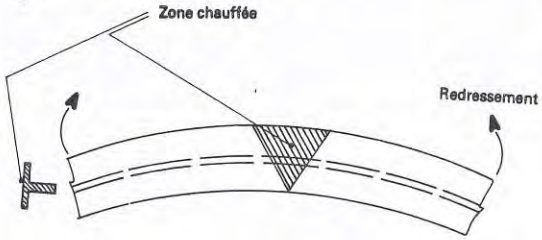
Croquis C 18 : *Redressage d'une tôle cintrée par chauffe au rouge de surfaces triangulaires.*



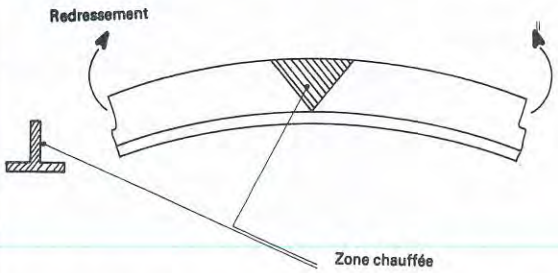
Croquis C 19 : *Chaudes de retrait.*



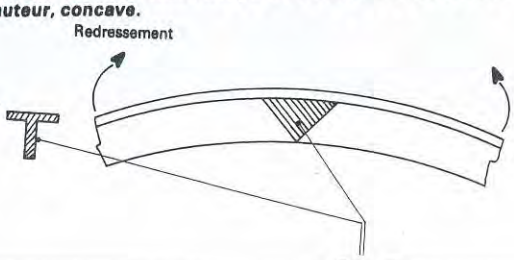
Croquis C 20 : *Chauffe pour redresser un T cintré dans sa largeur.*



Croquis C 21 : *Chauffe de redressement d'un T cintré dans sa hauteur, convexe.*



Croquis C 22 : *Redressement par chauffe d'un T cintré dans sa hauteur, concave.*



Les rivets sont, en principe, d'une nuance proche de la nuance des tôles assemblées.

Le rivetage a l'avantage d'être relativement rapide, et, s'il a perdu la plupart de ses applications, c'est parce que le soudage des épaisseurs minces a gagné en qualité. Il semble que le rivetage peut subsister dans des assemblages de tôles très fines en complément éventuel du collage.

Le rivetage de tôles d'aciers inoxydables reste intéressant en fabrication d'espars. On assemble de façon courante des platines en acier inoxydable sur des parois de mâts en aluminium par le rivetage. Le rivetage évitant de chauffer le

métal comme le fait le soudage, les caractéristiques des tôles et donc de l'assemblage sont aussi proches que possible de ce que leurs qualités mécaniques initiales a permis de calculer. Nulle chauffe, nul recuit, nulle détente. Cette précision potentielle ne doit pas être perdue de vue !

Il existe des rivetages ouverts, explosés, à mandrin, aveugles démontables ou non.

BOULONS

C'est là encore une méthode extrêmement répandue qui n'appelle pas de longue description. Toutefois, le boulonnage à haute résistance diffère par le calcul qui le précède.

Le boulonnage à haute résistance transmet les efforts par le contact entre les parties de l'assemblage boulonné.

Le boulon est donc réalisé en acier à haute limite élastique et la traction opérée par le serrage permet une adhérence intime des pièces assemblées. Une rondelle doit toujours être interposée entre l'écrou de serrage et la pièce qui se trouve de son côté.

La force de serrage peut être contrôlée par une clé dynamométrique. Ce contrôle est courant dans le serrage de pièces de moteurs, etc.

Il existe des rondelles évitant le desserrage que les vibrations occasionnent parfois : rondelles Grover, rondelles indesserrables diverses.

On peut aussi mater le pas de vis à sa sortie de l'écrou par un coup de pointeau.

Avant le serrage d'écrous destinés à rester longtemps sans vérification, il existe divers produits qui peuvent être introduits dans le filetage (Loctite), soit dans le but d'effectuer un collage, soit dans celui d'éviter le collage qu'une éventuelle corrosion provoquerait (produit gras).

La caractéristique des boulonnages avec écrou est de nécessiter l'accès aux deux côtés des pièces à assembler.

Le taraudage d'une ou des pièces permet leur serrage avec accès d'un seul côté.

Il existe aussi des techniques de rivetages aveugles.

SOUDAGE

L'assemblage par soudage se fait par la fusion du métal des bords des pièces à assembler. Il s'ensuit une continuité parfaite de la matière d'une pièce à l'autre.

La soudure autogène emploie le même métal que celui des pièces à assembler.

Le brasage (ou soudure hétérogène) emploie au contraire un métal différent et se rapproche d'un collage.

Le soudage peut se faire par combustion de gaz ou par formation d'un arc électrique.

Le premier est le soudage oxyacétylénique. Le second est le soudage à l'arc.

SOUDAGE OXYACETYLENIQUE

Il n'a que l'avantage d'utiliser un matériel peu onéreux, pour des petits compléments de soudure ou des réparations. C'est une méthode périmée.

C'est un mélange d'oxygène et d'acétylène qui permet la fusion du métal. Je le décris ci-après, assez brièvement, pour mémoire.

La flamme :

Elle doit être réglée par les molettes prévues à cet effet. Trop riche en oxygène, elle est dite oxydante ; trop riche en acétylène, elle est carburante. Bien réglée, elle est dite réductrice. Son aspect, la longueur du dard, la couleur du panache, le halo blanc qui peut entourer le dard guident dans le réglage. Notamment, le dard ne doit être entouré d'aucun halo blanc.

La position

Le bord de chaque pièce doit être fondu simultanément si bien que la flamme du chalumeau doit être maintenue dans le plan de symétrie de la soudure. La distance entre le dard et la surface à souder doit être de 2 à 5 mm.

A la différence du soudage oxyacétylénique de l'aluminium, aussi peu employé en construction navale, la flamme peut précéder la baguette, méthode dite « *à droite* » ou « *en arrière* », ou suivre la baguette, méthode dite « *à gauche* » ou « *en avant* ». La méthode à droite est la plus rapide. Elle convient pour des tôles de plus de 3 mm. Le soudage oxyacétylénique permet de réaliser des soudures bout à bout, à plat ou à bords relevés, en angle intérieur ou extérieur, en corniche, au plafond, verticale.

Préparation

Les bords des pièces peuvent être, après avoir été bien affranchis, jointifs par des tôles très fines, écartés de 2 mm par des tôles de 3 mm ou plus, préparés en V ou en X par des chanfreins.

Précautions

La flamme chauffe le métal avant d'en amorcer la fusion. Une partie seulement du métal est chauffée, le long du cordon de soudure. Si bien qu'on assiste à une transformation cristalline du métal depuis le cordon jusqu'aux zones restées froides. Ces transformations créent des différences de caractéristiques mécaniques et des déformations dimensionnelles. Il faut y remédier par diverses techniques touchant à la préparation des pièces, à l'acte du soudage, à la détente du métal après soudage, qui en opère un recuit.

Voyez quelques indications concernant le soudage oxyacétylénique « *à gauche* » d'un acier doux courant, dans le tableau suivant :

RECHARGEMENT

Assez peu utilisée en construction navale, sauf pour la réparation, cette technique est l'apport de métal pour reconstituer de l'épaisseur (on dira de la matière) à un endroit qui, par usure ou après un meulage excessif, présente un manque.

Après un soigneux décapage du métal de la pièce usée, on procède à des passes successives de soudure à l'arc (ou éventuellement oxyacétylénique). Les cordons de charge finale sont jointifs. On procède ensuite à un meulage pour donner à la surface un aspect correct.

Cette technique peut aussi être préventive. On charge de façon excessive une zone dont l'exposition va conduire à une usure importante.

On trouvera cette technique dans le soudage des tôles sur le fer de brion, au pied de l'étrave et de la semelle de quille, sur les tôles et le tube d'attaque de quille.

Le drièdre des tôles s'appuyant sur le fer de quille ou de la semelle de quille (épaisse), contre le bas du tube d'attaque et l'arrivée des tôles de quille contre ce même tube, présentent des surfaces concaves qui se prêtent bien à un rechargement (ou charge) de soudure.

La masse importante des pièces, et leur épaisseur, absorbent bien le choc thermique qu'impliquent les passes successives. Il ne faut y voir aucune obligation, ni même une réelle nécessité ; mais simplement une possibilité sans guère d'aspects nuisibles.

Par contre, sur les tôles plus fines du bordé et du pont, il faudra éviter toute charge excessive de soudure qui n'aboutirait guère qu'à déformer les tôles.

Epaisseur en mm	Débit de la buse litres/h	Diamètre de la baguette en mm	Mètres par minute	Consommation par mètres de soudure	
				acétylène en litres	oxygène en litres
1	100	2	5	8,5	10
1,5	140	2	7,30	19	22
2	200	3	10	35	42
2,5	250	3	13	48	57
3	315	3	15	75	90

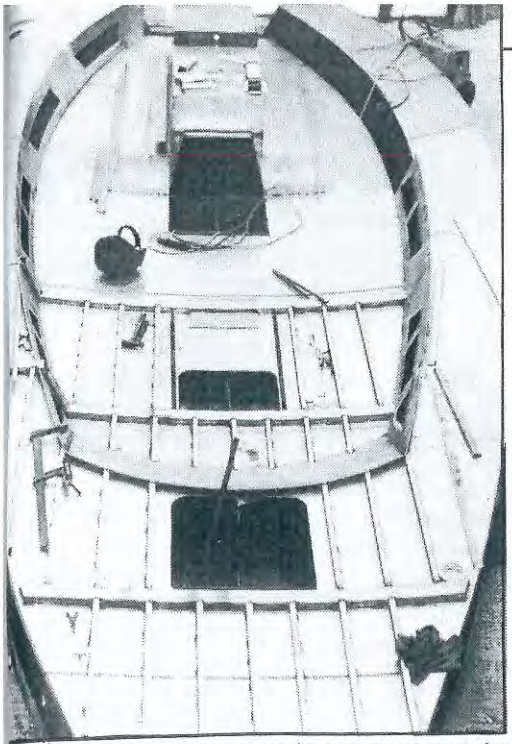


Photo C 20 : *Détail du moule de pont et construction d'un pont en inox.*

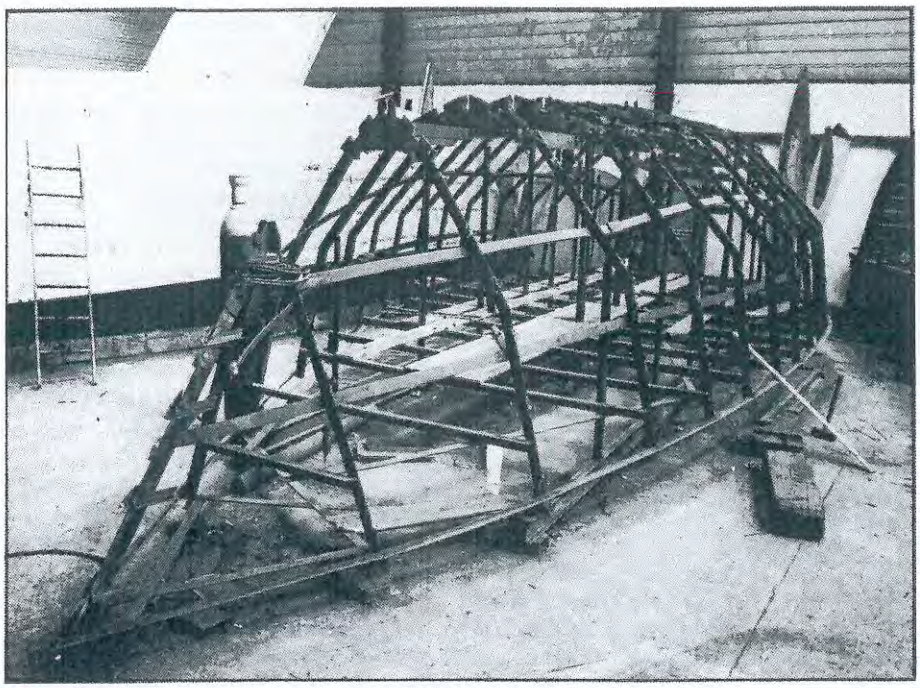


Photo C 18 : *Gabarit pour construction en série. (Chantier Brument)*

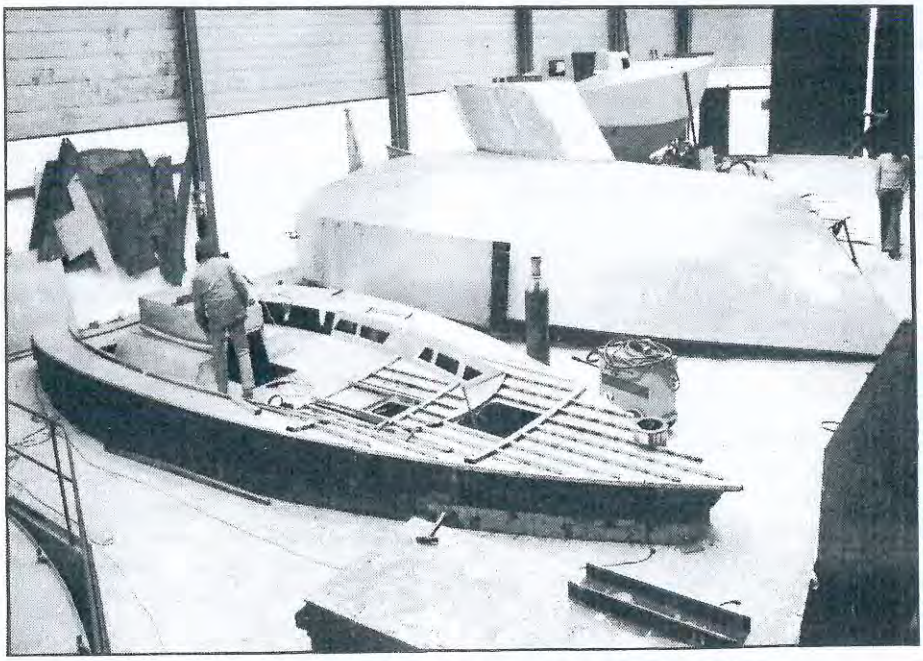


Photo C 19 : *Moule de pont au chantier Brument et construction d'une coque en inox.*

BRASAGE

Peu utilisé en construction navale proprement dite, le brasage permet cependant de lier l'un à l'autre deux tubes par l'intermédiaire d'un manchon, ou de raccorder un tube sur un réservoir, l'un et l'autre étant alors de métaux différents.

Il y a le brasage tendre à l'étain, qui ne convient pas ; le soudo-brasage qui se rapproche du soudage oxyacétylénique ; et le brasage fort ou par capillarité qui est la réelle technique de brasage.

Les pièces à assembler sont fortement chauffées, mais en dessous de leur température de fusion. Le métal d'apport est fondu et s'insère entre les pièces à assembler. Il n'y a pas de continuité métallique, ni même homogénéité ! C'est une adhérence analogue à un collage. La surface de contact doit être aussi grande que possible. On a fréquemment recours à un manchon de raccord dans lequel sont enfilées les pièces à « *coller* ». Le métal d'apport relie alors chacune des pièces au manchon et entre elles, mais c'est surtout le manchon qui assure la continuité.

Une brasure courante est la brasure à l'argent. Elle contient de 2 à 7 % d'argent, du cuivre, du zinc, du cadmium, du nickel. En général, pour braser deux pièces d'acier, on opte pour 45 à 50 % d'argent.

Le brasage convient pour assembler :

- deux pièces de métaux différents,
- deux pièces dont une n'est pas d'un métal soudable,
- deux pièces de faible épaisseur, moins de 1,5 ou 2 mm.

Ce cas est justement celui parfois rencontré de réservoirs de fuel de moins de 2 mm d'épaisseur, soit moins de 200 litres de contenance, par exemple. *(Photos C 18 à C 21.*

Photo C 21 : *Construction rivée. Le bordé du « Belem ».*



9

SOUDAGE A L'ARC ELECTRIQUE

UNITES DE MECANIQUE ET ELECTRICITE

- Le mètre
- Le kilogramme
- La seconde
- L'ampère, unité d'intensité du courant électrique.

Newton : force qui communique à une masse de 1 kilogramme une accélération de 1 mètre par seconde.

● 1 kilogramme-force = 9,806 Newtons.
● Un joule est le travail fourni par une force de 1 newton dont le point d'application se déplace de 1 mètre dans le sens de la force.

1 kgf/m = 9,8 joules.

1 watt est la puissance qui produit 1 joule par seconde.

1 kilowatt = 1.000 watts.

1 kilowatt/heure (Kwh) = 3.600 joules.

L'ARC ELECTRIQUE

On peut amorcer et entretenir un arc électrique entre les extrémités de deux électrodes portées à un potentiel convenable.

L'arc évolue en fonction de l'intensité du courant, la forme des électrodes, leur écartement, la pression du milieu. Il n'y a pas deux arcs semblables à un moment donné.

DESCRIPTION DE L'ARC

A travers un écran filtrant, on observe :

● une tache brillante à la cathode ;
● un éclat plus important à l'anode ;
● une colonne gazeuse de forte température entre ces deux taches lumineuses.

A la cathode sont émis des électrons en quantité proportionnelle à l'intensité du courant. Ces électrons entrent en collision avec des molécules et produisent des ions qui sont ces molécules porteuses de charge.

L'azote, l'hydrogène, la plupart des gaz rares forment des ions positifs par perte d'un électron (—). Après le choc, les deux électrons vont à l'anode (—) et l'ion (+) va à la cathode qu'il « *bombarde* ». C'est le principe du soudage à l'arc sous gaz inerte.

En présence d'oxygène, un électron est capté (par l'oxygène) et ce sont ces ions négatifs (—) qui bombardent l'anode.

On note donc trois types de migrations de particules :

● Bombardement de l'anode par les électrons (—) de la cathode.
● Bombardement de la cathode par les ions (+).
● Bombardement de l'anode par les ions (—).

La vitesse de déplacement des ions est de 1 mètre/sec., celle des électrons est de 100 m./sec. Ce sont les électrons qui transportent la majorité du courant électrique.

INFLUENCE DE L'ARC SUR LE SOUDAGE

● L'arc n'est stable que grâce à l'émission d'électrons à la cathode.
● L'arc est lié à la tache cathodique et l'accompagne dans ses déplacements.
● Il faut une tension d'amorçage suffisante pour accélérer les électrons.
● Si elle est cathode, une électrode chaude s'amorce plus facilement qu'une électrode froide.
● Si l'émission d'électrons est insuffisante à cause d'une intensité de courant trop basse, la cathode se refroidit et l'arc devient instable. Il correspond une intensité de courant à chaque diamètre d'électrode.
● On peut favoriser l'émission d'électrons par des corps émissifs, ionisants dans les enrobages, et par une étincelle pilote de soutien.
● L'anode qui reçoit le bombardement d'électrons est plus chaude que la cathode.
● L'arc peut être interrompu, comme une flamme par un violent souffle.
● Le fuseau de l'arc électrique suit les lois électromagnétiques, peut être dévié par un champ magnétique. Il s'ensuit des soufflages qui ont des effets gênants sur la qualité de la soudure.

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES EN REGIME STATIQUE

● Lorsqu'aucun autre paramètre ne varie, on peut étudier l'incidence des variations de l'intensité du courant électrique (I) et de la longueur d'arc (L) sur la tension de l'arc (U).
● I étant constant, la tension de l'arc est une fonction croissante de la longueur L. Quand l'intensité croît, les caractéristiques tendent vers une limite correspondant à de plus faibles tensions.

Courant de 10 à 20 A/mm²

On utilise des courants électriques d'une densité inférieure à 20 A/mm², pour des méthodes de soudage à électrodes réfractaires (tungstène, carbone...)

Courant de 50 à 200 A/mm²

C'est le cas des soudages à fils électrodes sous atmosphère gazeuse (ou poudre-flux). On utilise des densités de courant de l'ordre de 200 A/mm². La tension est une fonction croissante de l'intensité du courant. A un niveau d'intensité suffisant, le fil est fondu (sublimé). L'atmosphère de l'arc accuse une légère discontinuité dans la variation de la tension.

ARC ET COURANT CONTINU

On peut alimenter un arc en courant continu avec une génératrice et une résistance montée en série avec l'arc.

On utilise une génératrice autorégulatrice pour assurer la stabilité de l'arc.

ARC ET COURANT ALTERNATIF

La stabilité de l'arc est assurée par une résistance ou un circuit inductif. Ce second cas est le plus fréquent.

ARC DE SOUDAGE A ELECTRODE ENROBEE

On note un cratère, dans la pièce à souder, et à l'extrémité de l'électrode, qui guide l'arc et évite des amorçages latéraux.

L'arc avec électrode enrobée peut fonctionner en courant alternatif si des substances ionisantes sont incorporées à l'enrobage pour faciliter l'amorçage. En courant continu, c'est de la nature de l'enrobage et de ses caractéristiques de fusion que dépend la polarité de l'électrode. Les enrobages basiques (carbonate de chaux) sont utilisés en polarité positive.

TENSION D'AMORÇAGE D'UNE ELECTRODE ENROBEE

Les électrodes à pénétration normale nécessitent une tension d'amorçage minimale de 45 à 75 Volts en courant alternatif.

En courant continu, il faut compter sur une tension à vide de 65 Volts pour la plupart des électrodes de type enrobé.

TENSION A L'ARC D'UNE ELECTRODE ENROBEE

Pour une électrode à pénétration normale, la tension de l'arc dépend .

● du diamètre de l'âme et de sa nature ;
● de l'épaisseur de l'enrobage et de sa nature ;
● de la profondeur du cratère ;
● de l'intensité du courant ;
● du type de courant alternatif ou continu ;
● de la polarité pour un courant continu.

La tension diminue avec le diamètre de l'électrode.

ELECTRODES A FORTE PENETRATION

Les électrodes à forte pénétration ont en général un enrobage épais et du type cellulosique. Le plasma de l'arc se forme dans une atmosphère riche en hydrogène. Les tensions à l'arc sont plus élevées que par des électrodes normales. Elles sont définies par la norme NF A 85-011. Elles sont de l'ordre de 40 à 70 Volts. Les courants de soudage sont voisins de 300 Ampères. La tension à vide doit être plus élevée et on y parvient en montant deux postes à souder en série.

ELECTRODES A ENROBAGE EPAIS

Un enrobage épais rend l'arc plus stable. Le cratère est plus profond. Les enrobages épais à forte teneur en poudre de fer sont conducteurs à chaud. L'amorçage se fait par **le seul contact avec la pièce à souder. Le travail du soudeur est plus aisé** : l'arc formé est très court.

COURANTS DE SOUDAGE

On distingue :

● le courant alternatif, à fréquence industrielle, de 50 Hz, ou fréquence moyenne, 150 à 450 Hz,

● le courant continu, unidirectionnel ou redressé.

Si l'électrode est reliée au pôle négatif de la source d'un courant continu, la polarité est négative et dite directe. Dans le cas contraire, elle est positive ou inversée.

En polarité directe, les ions de la cathode (—) bombardent l'anode (+) : la pièce à souder,

Avec une polarité inversée, l'électrode est l'anode, et sa fusion est plus aisée.

SOUFFLAGE MAGNETIQUE ET COURANT CONTINU

Un soufflage est la dérivation magnétique de l'arc due au magnétisme créé par le passage du courant dans l'électrode, dans les conducteurs, dans l'arc et dans la pièce à souder.

L'arc peut ne plus jaillir entre l'extrémité de l'électrode et la pièce à souder — (le bain du cordon). Il change de place sans arrêt. La longueur de l'arc varie. La qualité de la soudure n'est plus constante.

Lors du soudage de l'acier, en courant continu, un champ magnétique est créé autour de l'électrode, de l'arc et de la pièce, et dont les lignes de force dépendent des dimensions de cette pièce.

En inclinant l'électrode vers la pièce à souder, on crée ainsi un champ magnétique (entre ces deux conducteurs) qui dévie l'arc et crée un soufflage.

Il y a une dérivation de l'arc entre le milieu, le début et la fin d'un cordon. La proximité d'une masse d'acier dévie également l'arc. Ce sera le cas lors du soudage de deux pièces l'une à l'autre, lorsque le cordon se rapproche de la pièce verticale, alors qu'il part de la pièce horizontale.

Pour éviter les effets du soufflage en courant continu :

● Varier l'inclinaison de l'électrode. Près de la prise de masse, on incline plus l'électrode pour former un angle aigu avec le sens du soudage. Puis on redresse l'électrode en allant vers l'extrémité de la pièce.

● On peut déplacer la prise de masse pendant l'exécution du cordon.

● Offrir deux voies opposées par le courant de retour, en disposant deux prises de masse.

● Préchauffer la pièce à souder. A 760°, l'acier est magnétique, aussi diminue-t-on le soufflage magnétique en chauffant la pièce, par exemple à 200 ou 300°.

● Exécuter un « *talon* », c'est-à-dire une terminaison de cordon, et repartir de l'extrémité opposée en soudant vers ce « *talon* ». On peut aussi disposer une masse métallique dans le prolongement du cordon.

● Souder en « *pas de pélerin* », en trois passes, par exemple.

● Faire avec le câble de masse une boucle autour de la pièce pour créer un champ magnétique antagoniste.

● Exécuter un pointage rapproché. On note le double rôle du pointage et du talon, solidarisant et renforçant les pièces dans le sens de la réussite du cordon, et créant un guide magnétique pour l'arc.

● Maintenir un arc aussi court que possible.

Le courant redressé est un courant « *ondulé* », un peu différent du courant continu, un peu moins créateur de soufflage.

COURANT ALTERNATIF ET SOUFFLAGE

Le courant alternatif fourni par le réseau est sinusoïdal. Le courant fourni par le transformateur de soudage est déformé.

En France, les fréquences de courant sont 150, 200, 350, 450 Hz.

A chaque période du courant du soudage alternatif, le champ magnétique se trouve inversé. Le champ magnétique induit dans la pièce crée des courants de Foucault. Le sens de ces courants est opposé au sens du courant dans l'électrode. Ce qui limite les soufflages à un faible effet allant dans le sens de l'avancement du soudage.

TRANSFERT DU METAL DANS L'ARC DE SOUDAGE

On visualise le passage des gouttelettes de métal dans l'arc à l'aide d'un oscillographe cathodique et du cinéma rapide.

Il y a trois types de transferts :

● **Pulvérisation** : de très fines gouttes de métal qui sont véhiculées par l'arc à vitesse rapide.

● **Globulaire** : de grosses gouttes à vitesse plus lente passent dans l'arc.

● **Court-circuit** : un pont liquide se forme et provoque un court-circuit entre l'électrode et la pièce à souder.

Les électrodes à enrobage basique ou cellulosique font partie de celles qui donnent un transfert globulaire. Il arrive que ces transferts donnent lieu à des courts-circuits.

Dans le cas de baguettes-électrodes enrobées, les gouttelettes s'échappent de l'âme de l'électrode et sont transférées dans la pièce. Il arrive que de grosses gouttes forment des courts-circuits momentanés.

Chaque gouttelette est enveloppée d'un laitier qui est fait d'enrobage et de métal oxydé. Lorsque la goutte atteint le bain du cordon encore liquide, le laitier éclate et forme une peau qui reste à la surface du bain.

Les gouttes ont un diamètre qui varie de 0,2 à 3 mm.

La quantité de métal déposé en un temps donné varie selon :

● la nature du courant ;

● la longueur de l'arc ;

● le diamètre de l'électrode ;

● **la nature et l'épaisseur de l'enrobage** : les électrodes nutiles apportent plus de métal que les électrodes basiques de même diamètre pendant le même temps.

● la tension de l'arc. Avec l'augmentation de la tension, le nombre de gouttes augmente, mais leur diamètre diminue.

Ce phénomène de transfert du métal sous forme de gouttes est capital pour le soudeur, qui, de son étude détaillée dans les ouvrages spécialisés des publications de la soudure autogène, déduira un grand nombre des gestes de son art.

Le plasma qui entoure l'arc est composé d'ions et d'électrons, non homogènes, à très haute température. Cette matière dissociée entraîne et véhicule les gouttes de métal.

Une partie du métal de l'électrode est fondue en gouttes. Une autre partie est pulvérisée. Elle s'oxyde à l'air et s'échappe en fumées ou se recondense et retombe dans le laitier ou de part et d'autre sous forme de gouttes.

Ce qui marque la différence entre un cordon à plat effectué au sol et un cordon « *au plafond* », n'est pas dû à la force de gravité sur l'arc et le transfert du métal, mais sur le fait que les projections et gouttes de métal condensé ne retombent pas sur le cordon ou la pièce à souder.

Lorsqu'un court-circuit se produit en courant continu, il se produit un effet de « *pincement* », car les forces magnétiques qui suivent la veine liquide constituée par une goutte allongée qui touche à la fois l'électrode et la pièce, exercent une compression radiale. De même, la goutte est attirée par la masse la plus importante et va du côté du bain et non du côté de l'électrode.

Surtout marquée dans l'emploi de baguettes à enrobage cellulosique, on note la formation de gaz qui s'échappent de l'électrode, se dirigent vers la pièce à souder et entraînent des gouttes de métal liquide.

A haute température, une partie du carbone de l'âme de l'électrode se transforme en oxyde de carbone. Cet oxyde de carbone sort de l'extrémité de la baguette

en se dilatant, s'échappe sous une forte pression et entraîne du métal fondu sous forme de gouttes. De même d'autres gaz, occlus, dans l'âme de l'électrode, se dilatent et éclatent à l'extrémité de l'électrode. Ils entraînent des globules de métal. En général, ces gaz contenant de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone sont réducteurs.

APPAREILS DE SOUDAGE A L'ARC

Je vous parle ci-après des appareils de soudage manuels à l'arc, laissant de côté les appareils automatiques qui ne sont pas du domaine de la construction navale.

Leur classification est codée par la norme NF A 85 010.

CHAMP D'APPLICATION

La plupart de ces appareils permettent, entre autres utilisations :

- le soudage et le rechargement avec électrode enrobée,
- le coupage à l'arc.

Certains d'entre eux peuvent même être adaptés au procédé TIG avec électrode de tungstène pour travail sous gaz neutre, mais mieux vaut réellement employer un poste créé pour cet usage.

POSTES ROTATIFS

Les génératrices de courant continu sont entraînées par des moteurs à explosion ou par des moteurs électriques asynchrones à cage d'écureuil qui tournent aux environs de 2.000 t/mn, et sont branchés sur le réseau triphasé. Les chantiers navals possèdent parfois des postes branchés sur un réseau de courant continu.

Le stator est incorporé, ainsi que les masses polaires. Les deux rotors sont couplés sur un arbre unique.

Ces postes sont montés sur roues. Les prises d'air doivent être prévues assez haut par rapport au sol pour ne pas aspirer trop de poussières. Ils possèdent un interrupteur de démarrage, un potentiomètre de réglage du courant de soudage. Les convertisseurs sont semblables à ceux du courant continu. Un alternateur monophasé remplace la génératrice à collecteur. On trouve des postes à cellules redresseuses sèches.

POSTES STATIQUES

Leur avantage est la robustesse par absence d'un trop grand nombre de pièces en mouvement. Des rattrapages automatiques reprennent le jeu qui peut se créer dans les bobinages ou noyaux.

Un ventilateur assure le refroidissement. La température excessive coupe le courant ou déclenche une sonnerie.

Ces postes sont rendus mobiles par des roulettes.

Les postes statiques ne nécessitent pas de disjoncteurs, mais des fusibles. Ils n'ont pas de collecteur. Ces appareils sont du type « *transformateur de soudage* » ou « *transformateur-redresseur* ».

ACCESSOIRES DES POSTES DE SOUDURE

CABLES

Sur un poste à soudure, on trouve deux câbles. L'un pour la pince porte-électrode, l'autre pour la masse.

Le câble de la pince gagne à être le plus souple possible et léger. Il est soumis à l'usure des frottements, des chocs, des coupures sur les bords des tôles, et à l'usure interne due à la densité du courant. On gagne à choisir un câble extra souple.

Le câble de masse peut être moins souple et on peut choisir un câble ordinaire.

Le câble de la pince peut être en deux parties. La première en câble souple du côté du poste. La seconde, du côté de la pince, en câble extra-souple en aluminium.

CONNECTEURS DE CABLES

La connection de deux parties de câble doit être de nature à être séparée sans outil et instantanément. La partie restée sous tension ne doit laisser apparaître aucune pièce métallique. Un capuchon plastique doit l'envelopper entièrement. Il en existe de plusieurs types.

PINCE PORTE-ELECTRODE

L'électrode est pincée dans cet appareil, par sa queue libre de tout enrobage. La pince doit être parfaitement isolée, ne pas s'encrasser trop facilement à l'intérieur. Elle ne doit pas nécessiter une perte de plus de 5 cm de la baguette électrode. Elle doit pincer la queue de l'électrode assez fortement pour ne pas laisser glisser une électrode « *collée* » à la pièce à souder. Elle doit être aussi légère que possible. Il existe des pinces « *semi-isolées* » et des pinces « *entièrement isolées* ». C'est bien entendu vers ce type de pinces que vous devez vous orienter. On peut mettre le doigt dans la pince sans toucher aucune partie métallique sous tension.

Il existe des pinces où la tenue de la queue de l'électrode se fait par un ressort à lame. Il faut éviter une pince où la main du soudeur doit serrer un « *bouton* », qui coince la baguette. On se fatigue trop vite à tenir ces pinces.

Elle doit accepter une charge de 300 à 400 A. Il existe des pinces de 1 à 75 A ; de 75 à 200 A ; et de 200 à 400 A. Bien qu'une charge de 80 à 200 A. soit suffisante au travail habituel dans un bateau, mieux vaut opter pour une pince couvrant le maximum de charge.

PRISE DE MASSE

Il en existe de plusieurs types mais le plus commode est la « *mâchoire-crocodile* » qui permet de déplacer la prise de masse très rapidement par exemple, pour éviter un phénomène de soufflage quand on s'en approche.

AUTRES ACCESSOIRES

- **Ampèremètre :** pour contrôler l'intensité du courant.
- **Condensateur :** pour atténuer des déséquilibres de phases du réseau.
- **Dispositif à tension de repos :** en cas d'arrêt accidentel de l'arc, ce type de dispositif applique une tension inférieure à la tension à vide de l'appareil à souder entre la pince porte-électrode et la pièce qu'on soude.

La tension à vide d'un appareil de type transformateur monophasé peut être voisine de 85 V, ce qui est excessif d'un point de vue de sécurité. Une tension de sécurité fréquemment admise est de l'ordre de 40 à 45 Volts.

SOUDAGE A L'ARC ET SECURITE

De par la présence de l'électricité, on devine que le soudeur doit prendre des précautions pour sa sécurité. Mais les dangers sont nombreux, et l'artisan, comme l'amateur, doit les connaître !

RADIATIONS DE L'ARC

L'arc émet des radiations depuis les infra-rouges jusqu'aux ultraviolets, en passant par le spectre visible. Les ultraviolets peuvent provoquer des brûlures de la peau analogues à un fort coup de soleil, d'autant plus dangereux que l'absence d'une chaleur qui signalerait l'exposition au U.V. ne prévient pas le soudeur. Même un vêtement très fin laisse passer ces U.V.

Par ailleurs, regarder un arc sans la protection de lunettes expose à des lésions graves de la rétine. Les filtres à choisir varient selon l'intensité du courant de soudage.

20 à 40 Ampères	: Filtre n° 9
40 à 90 Ampères	: Filtre n° 10
80 à 175 Ampères	: Filtre n° 11
175 à 300 Ampères	: Filtre n° 12
300 à 500 Ampères	: Filtre n° 13

Un filtre insuffisant ne protège pas assez la rétine.

Un filtre trop opaque oblige à rapprocher le visage de l'arc, et expose à d'autres dangers, dont la respiration de gaz nocifs.

ELECTRICITE

L'appareillage est soit sous tension de soudage, sous tension d'alimentation, sous tension à vide, selon les moments.

- Un contact avec une pièce métallique

sous tension commotionne fortement. Le courant alternatif cause des dégâts sur le système nerveux, des troubles cardiaques, et une crispation musculaire qui fait que la personne atteinte garde le contact avec la pièce sous tension. Le courant continu provoque des brûlures et projette en arrière la personne touchée, ce qui peut être grave quand on songe qu'un pont de bateau est à plus de trois mètres du sol !

- Les installations doivent être pourvues d'une prise de terre en contact direct. Les appareils doivent avoir leurs parties métalliques sous tension isolées et protégées par des matériaux non conducteurs.
- Les soudeurs doivent porter des gants épais et des chaussures à semelles épaisses et non conductrices. Ils doivent éviter de porter des gants ou des chaussures mouillés, et doivent se méfier des flaques d'eau quand ils portent la pince à électrode.
- Souvenons-nous que la femme du navigateur anglais *Mike Mac Mullen* s'était électrocutée en ramassant une perceuse tombée dans une flaque d'eau.
- La pince porte-électrode doit être reposée dans un bac isolant. Souvent, les soudeurs la posent dans leur masque protecteur.

ENROBAGE

La fusion de l'électrode vaporise de l'oxyde de carbone. De plus, la fusion de l'enrobage libère d'autres gaz nocifs. Les enrobages oxydants, acides et rutiles dégagent des gaz nitreux.

Les enrobages cellulosiques dégagent des aldéhydes gazeux et de l'oxyde de carbone, des composés gazeux de fluor. Le seuil maximum d'ingestion des dégagements gazeux des électrodes basiques est de 10 milligrammes par m3 d'air.

Les tôles pré-peintes au zinc, au plomb, ou avec des peintures contenant des sels ou ces métaux dégagent des vapeurs nocives. De même, des aciers au chrome ou au manganèse.

En général, l'aération, même dans la coque d'un bateau, est suffisante pour éviter d'en ingérer plus de 1 milligramme par m³ d'air. Eventuellement, un ventilateur brassant 8 m³ d'air par minute suffira à assainir l'air dans la plupart des cas.

PORT DU CASQUE ET DU MASQUE

La réglementation du travail demande le port du casque. Un masque de grande dimension, et muni d'une poignée, est porté de la main gauche quand un soudeur (droitier !) soude de la main droite. Le filtre de ce masque est glissé dans un cadre qui permet de le changer et de l'adapter à l'intensité du courant de soudage et à la luminosité de l'arc. Il existe aussi des masques fixés sur la tête et articulés. Il suffit alors de le relever ou de le basculer comme la visière d'un casque de moto.

LUNETTES

Des lunettes permettent aussi d'éviter le « coup d'arc », extrêmement douloureux, une dizaine d'heures après qu'il se soit produit. Elles permettent aussi, et c'est très important, de ne pas recevoir de fragments de laitier dans les yeux, lors du piquage des cordons. Le port de lunettes, à verre blanc ordinaire, est capital lorsqu'on pique et brosse un cordon de soudure !

Le port des gants est indispensable, et aux deux mains, pour éviter l'électrocution, de se couper sur le bord d'une tôle...

Les gants doivent être secs.

Les chaussures doivent être montantes, à semelle synthétique épaisse, et si possible leur bout doit être renforcé pour qu'une tôle qui tomberait sur le pied ne coupe pas et la chaussure, et le pied !

ACCIDENTS

Une personne électrocutée et qui touche encore un métal sous tension ne doit être saisie qu'avec des gants secs ou à travers des tissus secs.

Une personne qui s'est exposée à un « coup d'arc » souffrira d'une conjonctivite dix heures après, et, paradoxalement, ne doit pas rester dans l'obscurité !

Pour les autres accidents... il faut prévoir une trousse de soins d'urgence !

NORMES VERITAS CONCERNANT LES SOUDURES

Cordons de soudure

Les cordons continus sont définis quant à leur section par ce qu'on appelle la « gorge ».

La gorge doit être égale à 3,5 mm pour des tôles de 5 à 8 mm ; à 4 mm pour des tôles de 9 à 11 mm.

La gorge ne doit pas être supérieure à 3,5 mm pour des tôles de 4 à 5 mm ; ni supérieure à 3 mm pour des tôles de 2,5 à 3 mm.

Soudures alternées

Les chenillages doivent être faits par traits en quinconce. Les traits sont espacés selon le tableau ci-après :

Pièces	Rapport L/l
— Membrures et varangues du bordé	2,5
— Barrots de pont	2,5
— Raidisseurs de bordé, de pont, de cloison	2,5
— Hiloires de pont	1,5

- L doit être au plus égal à 50 fois l'épaisseur des pièces soudées.
- l doit être au moins égal à 75 mm pour des tôles de moins de 10 mm ou égal à 100 mm pour des tôles de plus de 10 mm.

Les longueurs de l comprennent les terminaisons cônicques des traits de soudure.

LES CONTROLES DES SOUDURES

En cours de construction, le soudeur ou une personne spécialisée du chantier, d'une société de vérification, ou un expert naval, vérifie la qualité des soudures. Le soudeur le fait au fur et à mesure de l'avancement de son travail. Un expert le fait une fois le soudage achevé, avant d'enduire et de peindre. C'est logique. Dans le cas de l'achat d'un bateau d'occasion déjà peint ou d'un bateau fini peint et aménagé, il faudra aller voir dans les petits coins l'aspect des soudures. Si vraiment l'aspect est peu engageant, seulement alors il sera utile d'aller plus avant dans le contrôle.

Voici divers contrôles possibles. Notons tout de suite pour ne pas rêver que bien peu sont à la portée de tout un chacun et les autres nécessitent un appareillage spécialisé. Je vous précise pour chaque type de contrôle leur niveau de facilité de mise en œuvre et leur fréquence d'utilisation dans les chantiers navals de plaisance.

PROCEDES DE CONTROLE

Ces contrôles sont :

- le contrôle visuel, à l'œil,
- le ressuage,
- les rayons Alpha ou Gamma : radiographie, alphagraphie ou gammagraphie,
- les ultrasons,
- la magnétoscopie,
- l'extensiomètrie ainsi que les essais mécaniques sur éprouvettes.

Contrôle visuel

Procédé : Observation attentive à l'œil, avec ou sans projecteur.

Facilité d'application : Le plus facile.

Avantages : Facile, et montre les défauts apparaissant en surface.

Défauts : Si on soupçonne des défauts en profondeur, un deuxième moyen de contrôle est nécessaire.

Fréquence d'application : Constant pendant le travail, facile et d'une application permanente avant peinture.

Ressuage

Procédé : Application d'un produit mouillant d'un côté et d'un produit absorbant de l'autre. On regarde les apparitions de l'un dans l'autre.

Facilité d'application : Facile pour tout le monde.

Avantages : Facile. Montre les défauts profonds. Laisse une trace photographiable.

Défauts : N'indique que des défauts dits « *débouchants* ». N'indique pas les inclusions. Se fait avant la mise en peinture.

Fréquence d'application : Assez généralisé en fin de soudage. Peut être fait sur la demande du client.

Rayons X, rayons Alpha, rayons Gamma

Procédé : Analogue aux rayons X de médecine mais plus pénétrants.

Facilité d'application : Réservé à des spécialistes.

Avantages : Laisse une trace photographique. Visualise plusieurs types de défauts. Appareils mobiles.

Défauts : Ne visualise pas tous les défauts. Nocivité des rayons.

Fréquence d'application : Rare, parfois pour achat, d'une grande unité d'occasion.

Ultrasons

Procédé : Propagation de vibrations qui visualisent les défauts par des échos sur un écran cathodique.

Facilité d'application : Pour spécialiste ou personne ayant suivi une démonstration.

Avantages : Précis, montre plusieurs types de défauts. Appareils portatifs.

Défauts : Pas de trace photographique. Appareillage coûteux.

Fréquence d'application : Rare, pour unités coûteuses.

Magnétoscopie

Procédé : Mise en champ magnétique de la zone à oberver. Un défaut provoque une déviation du champ.

Facilité d'application : Réservé à des spécialistes.

Avantages : Laisse un témoignage photographique.

Défauts : Ne montre pas tous les défauts. Nécessite un branchement électrique. Appareillage encombrant et coûteux.

Fréquence d'application : A peu près jamais !

Extensiométrie

Procédé : Mesure la déformation des assemblages sous l'effort d'un agent mécanique.

Facilité d'application : Réservé à des laboratoires spécialisés.

Avantages : Met en évidence une grande variété de défauts.

Défauts : Appareillage et opérations réservés à des laboratoires.

Fréquence d'application : Jamais !

Le contrôle visuel

Il est tout simplement indispensable et le soudeur regarde son travail au fur et à mesure qu'il l'exécute. Cependant, la personne qui voudra se rendre compte elle-même de l'aspect des soudures de son bateau prendra soin de se munir d'un projecteur à piles ou d'un secteur. Cela lui permettra de voir dans les recoins et d'éclairer une zone sous plusieurs angles, des défauts étant visibles sous un éclairage et pas sous d'autres. Si ce contrôle visuel montre des cordons très boursouflés ou anormalement creux, il est alors utile de procéder à une seconde analyse par un moyen faisant apparaître les défauts profonds.

Le ressuage

Cette méthode est très simple. Tout constructeur amateur doit y avoir recours ! Les artisans et constructeurs navals gagnent à généraliser son emploi, pour éviter toute mauvaise surprise. Les chantiers très qualifiés ne le mettent en œuvre que lorsqu'ils ont un doute sur une zone où, par exemple, une machine à souder a eu des « *ratées* ». L'acheteur d'un bateau d'occasion fait par un amateur ou un artisan doit exiger ce contrôle, car il y a chaque année beaucoup de problèmes soulevés par des bateaux achetés d'occasion, non finis, et dont le nouveau propriétaire découvre, mais trop tard, que des zones sont mal soudées, fragiles ou poreuses, **ce qui n'est pas la même chose ! Un acheteur d'une coque pontée neuve peut demander au constructeur une démonstration. En général, le constructeur la lui fera mais la lui facturera aussi**, ce qui est normal puisqu'un ouvrier y aura passé du temps !

Le procédé : on passe sur les soudures deux produits complémentaires. D'un côté un produit mouillant, à forte pénétration (peu visqueux) et souvent coloré. Ce peut être du pétrole. De l'autre côté, on applique du lait de chaux, du talc, ou du Blanc de Meudon. On voit alors, s'il y a des porosités traversant le cordon, apparaître le liquide dans le blanc séché. Pour voir les défauts qui ne concernent qu'un côté d'un cordon fait en deux passes (l'une interne et l'autre externe), et c'est la majorité des cas, on passe le liquide mouillant. Puis on sèche le métal en l'essuyant. On applique, du même côté, du talc ou du Blanc de Meudon (dilué). Le liquide remonte dans le blanc ou dans le talc et met en évidence les défauts, pourvu que ceux-ci soient du type débouchant, c'est-à-dire qui débouchent à la surface du cordon. On trace en regard du cordon des repères au crayon. Puis on passe de l'autre côté et on exécute la même vérification.

Si trop de défauts sont groupés dans une zone sollicitée par des efforts importants, voire s'ils se correspondent intérieur-extérieur, il peut être nécessaire de refaire des segments de cordons. Ce qui n'est pas facile et occasionne souvent de fortes déformations de tôles qui sont bridées par le reste des soudures et ont peu de place pour réagir à la chauffe du second soudage. Si elles ont déjà été « *maltraitées* », déformées, détendues par des chaudes de retrait et récupérées lors du premier cordon... c'est mal parti !

C'est rare sauf sur des bateaux de construction amateur revendus non finis. Lorsque l'amateur finit son bateau pour lui, il le soigne. Ce n'est pas sûr lorsque l'amateur a décidé de revendre son bateau avant de l'avoir achevé. Il peut alors songer à le bâcler un peu puisqu'il y a peu de risques que sa responsabilité soit prouvée et qu'il n'a pas de réputation à défendre ! Prudence !

- Il existe outre le Blanc de Meudon ou le talc qu'il faudra mettre en suspension dans un liquide volatil, des liquides de ressuage en bombe.
- La méthode ancienne du pétrole d'un côté du cordon et du lait de chaux de l'autre côté, marche très bien aussi.
- **Une composition possible pour un liquide de ressuage est :**

Toluène (10 %) + Rouge Organol BAS (6 %) + Lactate de Butyle.

Chez votre droguiste préféré... ou votre pharmacien !

Les réservoirs peuvent être essayés sous pression, mais les méthodes de mise en œuvre sont peu à la portée de tous et de chacun !

Radiographie, gammagraphie

Les rayons X traversent la plupart des corps du fait de leur longueur d'onde plus petite que celle de la lumière. Plus le matériau est dense et moins il est traversé par les rayons X, qui de ce fait conviendront plus facilement à une analyse de l'aluminium qu'à celle de l'acier.

Lorsque les rayons touchent un défaut du métal, ils passent donc une zone où la densité est différente. Les quantités de rayonnement qui traversent le métal, par leur différence, indiquent les zones denses en clair (peu de rayonnement) et les zones moins denses en foncé.

En général, la distance entre la source du rayonnement et la plaque sensible est d'environ 70 cm. Le temps de pose varie selon la sensibilité du film et l'intensité du rayonnement.

Cette technique permet de visualiser :

- pour l'aluminium : les inclusions de flux, d'oxydations, d'autres métaux,
- pour l'acier : les inclusions de laitier, les résultats de soufflures, le manque de fusion, le manque de pénétration, les fissures, les cratères, etc.

De même, le rayonnement Gamma et le rayonnement Alpha.

Le rayonnement Gamma provient d'un isotope choisi en fonction de l'épaisseur et du métal à contrôler. Cet isotope radioactif émet un rayonnement de très petite longueur d'onde. Les radio-isotopes les plus « *courants* » sont le cobalt 60 ; l'iridium 192 ; le thullium 170 ; le cesium 137. Ces isotophes ne nécessitent pas de source électrique. C'est un avantage. Les appareillages et les iso-

topes sont transportables. Le coût de ces isotopes n'est pas très important. Dans l'ensemble, les rayons X donnent de meilleurs résultats.

Ultrasons

Sous une tension électrique (courant alternatif), un quartz ou une céramique de Titanate de Baryum transmet ses vibrations aux tôles dont on veut analyser l'assemblage par soudure. Un palpeur reçoit ces vibrations. Les discontinuités du métal sont signalées par l'analyse de la réflexion et de la réfraction des ultrasons.

Il existe plusieurs méthodes d'analyse par ultrasons : méthode par transparence (perpendiculairement aux tôles) ; méthode par échos avec deux palpeurs ou avec un seul palpeur. On commence par étalonner l'appareil. Puis on procède à l'analyse. L'amplitude de l'écho et ses variations donnent des indications sur les défauts et les localisent. Les défauts signalés sont les absences de fusion, les inclusions de laitier, les fissures longitudinales, les soufflures.

Magnétoscopie

Les lignes de force d'un champ magnétique sont déviées par des défauts perpendiculaires à ce champ. On peut donc analyser un cordon de soudure en faisant passer au-dessus de lui un appareil qui le parcoure d'un champ magnétique. Lorsqu'un défaut est signalé, une fine poudre magnétique est saupoudrée sur le métal et s'accumule là où les lignes de force sortent de la pièce. On repère ainsi des défauts débouchant à la surface du cordon, mais aussi des défauts situés juste sous sa surface. Mais on ne découvre pas les défauts plus profonds. **On met en évidence** : les fissures de surface, les cratères, les manques de fusion, les caniveaux, les manques de pénétration, les porosités, les inclusions de laitier qui se trouvent juste sur la surface du cordon.

CLASSIFICATION DES DEFAUTS DE SOUDURES A L'ARC

Beaucoup de ces défauts, et leurs causes, valent pour l'aluminium comme pour l'acier.

Dénivellation : Les deux pièces soudées ne sont pas au même niveau. Ne pas meuler ! Laisser, enduire, ou recommencer !

Surépaisseur : Le cordon est trop gros. Un cordon ne devrait pas avoir une surépaisseur supérieure au dixième de l'épaisseur des tôles soudées. Vitesse de soudage trop lente ou intensité trop grande.

Cordon creux : Le cordon forme une gouttière. Refaire ou recharger.

Cordon d'angle trop plat : Même observation. Vitesse trop grande ou intensité trop faible.

Cratère non rempli : Un cratère de fin de cordon, mal rempli, peut provoquer une fissure du cordon. Reprendre et recharger en revenant en arrière.

Fusion des arêtes : Cela arrive dans une soudure à clin. Electrode trop grosse, intensité excessive.

Défaut d'aspect du cordon : Voyez les dessins de cordons et leur légende.

Défaut de pénétration : Le cordon n'atteint pas la face opposée du métal. Avec deux cordons opposés, il reste un espace entre eux. L'écartement entre les tôles n'a pas été suffisant, l'électrode était trop grosse, la vitesse de soudage trop rapide, l'intensité trop faible ou l'arc trop long. Un seul cordon : reprendre par l'autre côté après gougeage à la meule. Deux cordons opposés : meuler entièrement l'un des deux et le refaire.

Trop de pénétration : Le cordon s'est effondré entre les deux tôles ou fait une surépaisseur excessive. Ecartement trop grand, intensité trop forte... gouger et recharger.

Collage : Manque de fusion du bord des tôles et manque d'homogénéité entre la soudure et les tôles. Résistance mécanique trop faible. Buriner ou meuler le cordon et le refaire. Les causes en peuvent être une mauvaise position de la baguette, une électrode trop fine, une intensité trop faible, un chanfrein pas assez ouvert.

Caniveaux, morsures d'arc : Le cordon laisse deux sillons de chaque côté de sa partie centrale. En principe, la solidité de la soudure n'est pas amoindrie par ces défauts d'aspect. Courant de soudage d'intensité trop forte, balancement d'électrode trop rapide, électrode tenue trop verticalement. Meuler ou gouger et recharger les sillons avec une électrode fine.

Inclusion de laitier : Le laitier doit flotter sur le cordon dont on l'en débarrasse par le piquage et brossage. Trés répété, ce défaut affaiblit la soudure. Causes d'inclusions de laitier : balancement d'électrode mal fait, électrode tenue verticalement, soufflage, électrode trop grosse. On trouve aussi des inclusions d'oxydes dues à des traces de rouille sur les bords de tôles. Des tôles d'oxycoupage ont des bords striés qui retiennent le laitier qui descend et fait des inclusions. Ces tôles doivent être meulées (affranchies) avant soudage. Meuler ou gouger et recharger.

Soudure oxydée : Le métal de fusion s'est oxydé à l'air et on trouve des inclusions d'oxyde ou un effet de collage par manque de fusion des bords des tôles. Un arc trop long accentue la formation d'oxyde.

Porosités : Des bulles de gaz qui éclatent au bout de l'électrode sont occluses dans le cordon. Il faut gouger et recharger. Des causes de porosités : manque de silicium et manganèse dans le métal des tôles, tôles rouillées ou grasses, bain de soudure trop visqueux, bain de soudure refroidi trop vite, vapeur d'eau, intensité trop faible ou trop forte.

Fissures à chaud : Le métal fondu dans le cordon est un alliage et non pas un métal pur. Au moment du refroidissement, si le métal subit des retraits trop vifs, des parties encore liquides peuvent se désolidariser des parties refroidies (dendrites) et des fissures se créent au sein du cordon. Il faut éviter de trop brider une soudure, il vaut mieux exécuter des gros cordons en plusieurs passes et non en une grosse passe. Les électrodes basiques et rutiles sont celles qui présentent le moins de fissures à chaud. Le martelage du cordon juste après son exécution permet de limiter les risques de fissures. On ne martèle pas une première passe, dite *« de fond »*. Une passe de fond fissurée, c'est tout le cordon qui est compromis.

Fissures à froid : Ces fissures peuvent apparaître dans des aciers à haute teneur en carbone (plus de 0,25 %). Ces fissures se forment non dans le cordon, mais dans le métal des tôles en bordure du métal fondu, et jusqu'à 1 cm à l'intérieur des tôles ! Pour éviter les fissures à froid, ne pas trop brider les tôles, ne pas souder un métal trop froid. Lorsque la température de l'air est inférieure à 0°, il faut préchauffer le métal entre 35 et 40°. La passe de fond doit être soignée. Eviter de s'arrêter en cours de cordon. Le préchauffage au chalumeau, du bord des tôles, lorsqu'on soude l'hiver est très important !

Fissures transversales : Ces fissures du cordon sont dues au retrait longitudinal. Elles arrivent plus pour des tôles épaisses que des tôles minces.

Points fissurés : D'une faible masse, les points et chenilles se refroidissent vite. Ils sont donc plus soumis à la fissuration que des cordons. Un point fissuré doit être meulé et refait.

Fissure de fin de cordon : Le dernier cratère n'a pas été rempli par le cordon. Il faut meuler, repartir plus en arrière et recharger. Exécuter un talon permet d'éviter ce défaut. Voir le soudage de l'aluminium.

Il existe aussi des micro-fissures de toute sorte. Outre ces défauts des cordons, il se produit aussi d'autres accidents lors du soudage, dont les déformations des tôles, dont j'ai déjà parlé dans les chapitres sur les traitements de l'acier : écrouissage, recuit, détente, trempe... J'y reviens dans le manuel de construction amateur ! Un chantier naval de renom, lorsqu'il choisit un alliage d'aluminium ou d'acier, qui sort un peu des sentiers battus, aura avantage à faire des essais de soudages sur des éprouvettes, qui seront soumises à des essais de traction, voire de fatigue ou de pliage.

C'est un gage de qualité rassurant pour le propriétaire. Hélàs, c'est coûteux et donc réservé aux chantiers déjà importants.

Objet	Vérifications de caractéristiques mécaniques d'assemblages soudés							
Date	3.2.77							
A la demande de	Etablissements Brument							
Repère d'éprouvette	Nuance	Epaisseur en mm	E	R	A %	HRB Dureté	Traitement de surface et marque d'acier	Soudage
1	E.26	2,99	30	381	21	69	Electrozingue	Mig
2	E.26	2,98	30	384	22	70	Electrozingue	Arc
3	E.26	2,97	55	594	15	95	Normeca	Mig
4	E.26	2,98	50	566	7	95	Normeca	Arc
5	E.26	2,95	41	482	15	88	Galvadur	Arc
6	E.26	2,89	41	476	10	88	Galvadur	Mig
7	E.26	2,98	29	382	20	70	Electrozingue	Arc
8	E.26	2,98	30	383	21	71	Electrozingue	Mig
9	E.26	2,95	41	481	10	89	Galvadur	Arc
10	E.26	2,89	41	469	10	88	Galvadur	Mig
11	E.26	2,98	51	581	10	96	Normeca	Arc
12	E.26	2,98	54	592	12	96	Normeca	Mig

Légende du tableau précédent

- Epaisseur : 3 mm ± norme de tolérance.
- E : Module d'élasticité, N/mm² ou KgF/mm², appelé aussi module de Young.
- R : Charge de rupture, N/mm² ou KgF/mm².
- HRB : Dureté Rockwell.
- Arc : Soudage à l'arc avec électrode enrobée.
- Mig : soudage MIG ou « semi-automatique ».

LE CHOIX DU POSTE A SOUDER

Ce choix qui va avoir un retentissement sur la qualité et le prix de revient des soudures doit être fait méthodiquement, pour celui qui veut créer un atelier, surtout !

Ce choix dépend :

- **du courant :** continu, alternatif, à 50 Hz ou à moyenne fréquence,
- du type d'appareil préféré et du type de soudure envisagé,
- du champ d'application de l'appareil : pointage, soudage de tôles minces ou de tôles épaisses,
- diamètre des électrodes (en fonction des épaisseurs à souder),
- du métal à souder,
- de la qualification de l'opérant,
- du travail en plein air ou en atelier,
- des possibilités de raccordement au réseau,
- **des caractéristiques des postes :** coût, poids, encombrement, consommation...

CHOIX DU COURANT

Quand on en a le choix (c'est plutôt rare) voici un tableau qui permet de décider de l'option pour le courant continu (C) ou du courant alternatif (A), selon le métal à souder et la méthode de soudage.

Soudage ou coupage	Acier			Alliages légers
	Au carbone	Faiblement allié	Fortement allié	
A l'arc dans l'air				
– électrode enrobée, non basique	A ou C	A ou C	C voire A	C
– électrode enrobée, basique	A ou C	C voire A	C voire A	—
– électrode couchée, en angle	A	—	—	—
– électrode couchée, bout à bout	C ou A	—	—	—
– électrode de carbone	C	—	—	—
Sous argon :				
– T.I.G. (électrode de tungstène)	C	C	C	A
– M.I.G. (électrode consommable)	C	C	C	C
– T.I.G. par point	C	C	C	A
Coupage :				
– électrode de carbone	C	C	–	–
– arc de carbone avec air	C ou A	C	C	–
– électrode enrobée	A ou C	–	–	–
– arc et jet d'oxygène	A ou C	A ou C	A ou C	–
– sous argon avec électrode de tungstène	C	C	C	C

Courant continu

- Il permet le soudage de beaucoup de métaux ;
- Il convient à beaucoup de techniques ;
- Il permet de souder les aciers inoxydables austénitiques ;
- Il permet l'usage d'électrodes à enrobage mince ;
- La polarité peut être choisie ;
- L'amorçage est facile ;
- L'arc est stable et « *doux* ».

Le courant continu convient à l'utilisation de baguettes de petit diamètre.

Par contre, le courant continu n'est pas le courant du réseau. Il faut le répartir sur trois phases du réseau.

L'inconvénient majeur est le risque de soufflage et la variation de la polarité.

Courant alternatif

- Il s'obtient par simple transformation du réseau ;
- L'arc doit être court et constant ;
- Il y a peu de risques de soufflage ;
- Il faut s'équiper d'un changeur de fréquence. Sinon, le courant alternatif de soudage mène à un branchement monophasé sur un réseau triphasé.
- Il faut une tension à vide élevée pour stabiliser l'arc.
- Il faut s'entourer de normes de sécurité plus strictes, car le courant alternatif est plus dangereux.

CHOIX DE LA CATEGORIE DE POSTE

On trouve un choix d'appareils statiques, rotatifs, de centrales de soudage pour plusieurs opérateurs... On choisira en fonction de plusieurs critères ci-après énumérés.

Aptitude au soudage

- Possibilité d'utiliser plusieurs types de baguettes ;
- Une tension à vide basse (par exemple 50 V) ne permettra pas de passer tous types de baguettes.

- **Agrément de soudage :** un opérateur qui essaye plusieurs appareils notera des différences d'utilisation et choisira de façon objective.

Un essai dans des conditions délicates permettra de faire un choix : une soudure montante avec une électrode basique est un bon test.

Génératrice de soudage :

Pour choisir, il faut se préoccuper, outre de la tension à vide, de la résistance interne apparente, qui doit être élevée, de la stabilité de la source de courant en régime d'arc.

Transformateur redresseur :

Ces postes sont assez polyvalents et conviennent au soudage des tôles minces. La tension à vide est une caractéristique importante à connaître. Mais il faut aussi se préoccuper de la stabilité de l'arc et des

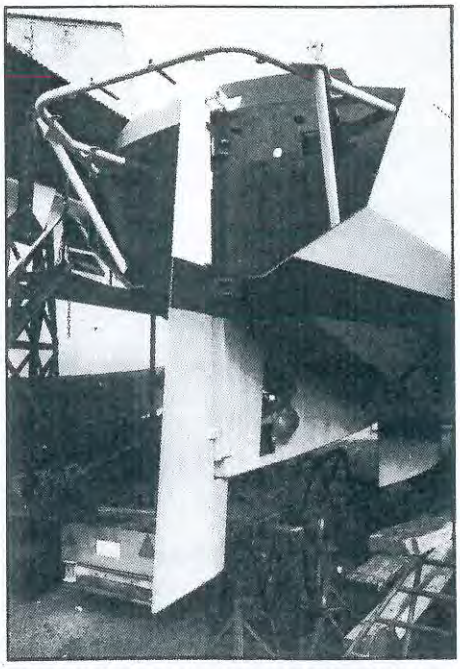


Photo C 23 : *« Safran fixe sur tableau et jupe » (META)*

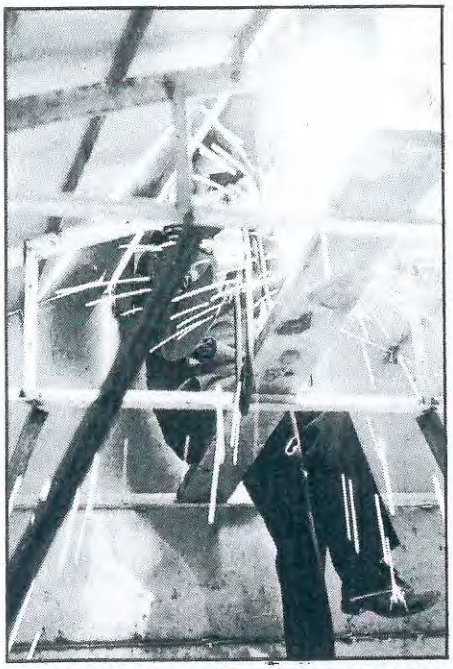


Photo C 24 : *Soudage : le soudeur se protège les yeux en tenant un verre fumé à la main. (Photo BRUMENT).*

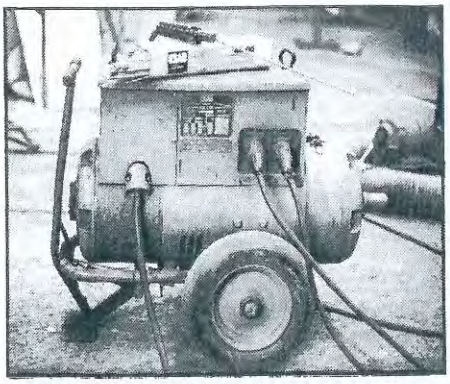


Photo C 25 : *« Poste à souder ESAB KB 250 ».*



Photo C 26 : *« Baguettes de soudure du type électrode enrobée ».*

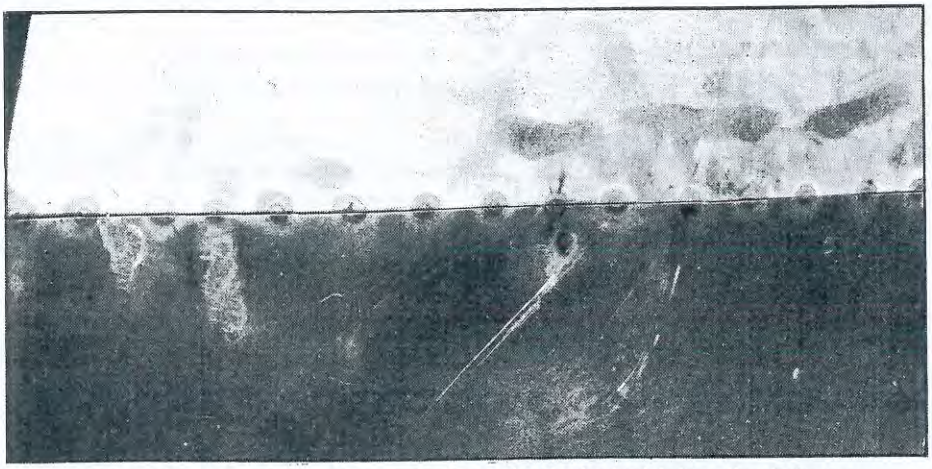


Photo C 28 : *« Revers de pointages de lisses (en haut), de tôles (en bas), le long d'une brisure ».*

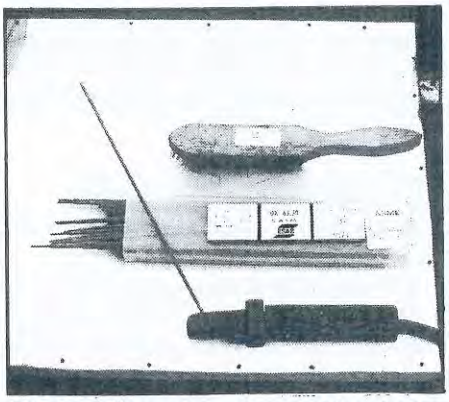


Photo C 27 : *« Baguettes enrobées, brosse métallique et pince porte électrode ».*

Photo C 29 : *« Un cordon de soudure doit être meulé pour des raisons mécaniques et esthétiques, et pour faciliter l'entretien ».*

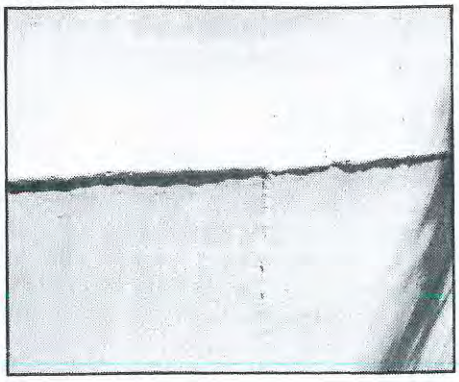


Photo C 30 : *« Tôle électrozinguée, traces de pointage de lisses apparaissant à l'extérieur. A brosser et repeindre ».*

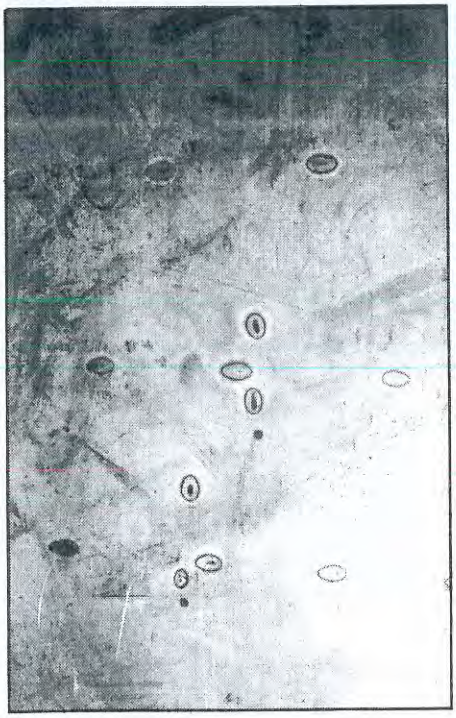


Photo C 31 : *« Soudage M.I.G. ».*



pertes à la fusion, qui peuvent varier pour une même valeur de tension à vide. Leur vitesse de rotation les rend peu sensibles aux variations de tension du réseau qui en France sont de 5 % (+ ou —) en ville et de 10 % en campagne.

Il faut aussi se pencher sur les pertes à vide. En effet, un poste est en travail (arc) peu de temps par rapport à ce qu'il reste en tension « à vide ». Pendant cette période, le poste consomme de l'énergie sans effectuer de travail. Il importe donc que cette énergie soit aussi faible que possible. Les postes rotatifs consomment plus que les postes statiques.

CHOIX DE L'INTENSITE MAXIMALE

C'est à partir des pièces à souder qu'on détermine la puissance maximale nécessaire. De l'épaisseur des pièces, on détermine le diamètre des baguettes et de ce diamètre découle la puissance maximale nécessaire. Sur les boîtes en paquets d'électrodes, cette puissance est indiquée en valeur moyenne recommandée. Cette valeur est multipliée par la tension à vide Uo pour indiquer la puissance apparente nécessaire. Uo est une variable pour chaque appareil et doit être supérieure à la tension d'amorçage des électrodes dont l'emploi est prévu.

POUR VOTRE BATEAU

En moyenne, on note les besoins de capacité suivants :

● Poste de 85 à 90 A, pour les pointages, les petits cordons, les chenillages, qui sont la totalité du travail du marbre et de la préparation du bateau avant le soudage en continu des bouchains.

● Poste de 200 A, pour souder les cordons continus des bouchains, d'angle pont-coque et d'angle quille-coque, y compris avec des baguettes à enrobage basique.

Si bien qu'il est tout à fait possible, et souvent intéressant, d'acquérir neuf ou d'occasion un poste passant une intensité de 90 ampères pendant la quasi totalité du travail de construction et d'armement, et de louer un poste de 200 A pendant le soudage des cordons, ce qui, selon la taille ou la complexité du travail dure de 4 à 10 jours.

Malgré toute sa bonne volonté et l'amour qu'il mettra à souder son bateau, un amateur ne réussira en général pas un aussi beau travail qu'un professionnel. Aussi, je conseille de faire toute la préparation de la coque et de la quille soi-même, puis de « *louer* » les services d'un professionnel pour les cordons continus, bateau à l'envers. L'amateur terminera lui-même le pont après le retournement de la coque. Puis il soudera, avec son poste à capacité de 90 A tout l'armement de pont en acier inoxydable.

Il existe aussi des possibilités de stages de 8 ou 10 jours, pour apprendre à souder. On peut se renseigner pour l'acier auprès de l'O.T.U.A. (Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier) et de la Soudure Autogène. De tels stages existent aussi pour la motorisation et le soudage des Alliages d'Aluminium...

De toute façon, l'amateur, avant de souder ses tôles aura franchi un grand nombre d'étapes progressives lui apprenant à souder des pièces de plus en plus fines et sensibles : marbre, profilés, tôles épaisses (quille) et tôles fines, puis l'inox.

LES ELECTRODES

Le choix du poste étant fait, il faut maintenant observer le bateau tel qu'il va être construit, et décider, avec le fournisseur, dont les conseils seront précieux, du choix des électrodes, si c'est le soudage à l'arc qui a été retenu, ou du fil pour un soudage en semi-automatique (MIG).

CARACTERISTIQUES

Elles ont de nombreuses caractéristiques :

● Le diamètre de leur âme : 1,6, 2,5, 3, 2, 4, 5 et 6,3.

● **Le courant de soudage :** courant alternatif et continu, ou courant continu seul.

	La longueur					
Diamètre	1,6	2,5	3,6	4	5	6,3
Longueur	225	350		450 mm		

TYPES D'ELECTRODES

● Electrodes pour aciers courants (NF A 81 - 309)

● Electrodes pour aciers spéciaux.

● Electrodes de rechargement.

● Electrodes pour métaux non ferreux.

● Electrodes pour la fonte.

● **La brochure de l'OTUA nous indique :**

« Il est indispensable de se référer à la norme NF A 81 - 309 de décembre 62. Elle définit les catégories d'électrodes en fonction :

— de leurs caractéristiques mécaniques

— de leur type d'enrobage

— de leur condition d'emploi (position de soudage et mode d'alimentation électrique)

Symbole général	Lettre E
— Résistance à la tract.	un chiffre
— Allongement	un chiffre
— Résilience	un chiffre
— Type d'enrobage	une lettre
— Pos. de soudage	un chiffre
— Mode d'alimentation électrique	un chiffre

L'OTUA attire aussi votre attention sur la présentation commerciale et la classification des baguettes repérées par des couleurs.

Symbole	1	2	3	4	5
Résistance à la traction H bars	40,20	43,15	47,07	50,99	54,92
Couleur fondamentale	néant	rouge	jaune	vert	bleu

Des nuances de teintes existent dans les classes 2, 3, 4 pour différencier les types de baguettes recommandées (enrobage, résilience, allongement).

Emballage :

1. L'étiquette doit comporter :

● la couleur conventionnelle ;

● nom et adresse du fabricant.

Exemple : ESAB 176, avenue Louis Roche, 92230 Gennevilliers.

● n° du lot de fabrication,

● nombre d'électrodes contenues dans le paquet,

● diamètre des électrodes,

● caractéristiques d'emploi, position,

● symbole complet de l'électrode.

2. Un papillon circulaire (de la teinte conventionnelle) collé sur le couvercle porte :

● nombre d'électrodes du paquet,

● symbole abrégé,

● le diamètre des baguettes.

De la perfection des cordons de soudure entre les tôles du bordé dépend :

● l'étanchéité de votre bateau,

● sa solidité,

● et aussi son élégance, donc sa valeur en cas de revente.

Sauf une préparation par des stages du constructeur individuel, mieux vaut laisser ce travail à un professionnel. Cela restera aussi un des atouts des coques pontées faites en chantier professionnel.

NATURE DES ENROBAGES

Les enrobages sont des mélanges complexes de matières organiques ou minérales. Chaque matière a une spécificité dans l'aspect du cordon, la fusion, l'amorçage ou la pénétration, ainsi que dans la facilité d'exécution du travail de soudage.

● Pour un même diamètre d'électrode, l'enrobage peut être mince, semi-épais ou épais et donner ainsi un cordon très différent, notamment en largeur.

Symbolisation « E 345 B 10 » (norme NF 81 309) D = 5						
E	3	4	5	B	I	0
	Résistance traction	Allongement	Résilience	Enrobage basique	Toutes positions	Courant continu
	49 H bar	28 %	14,7 da J/cm²			polarité +

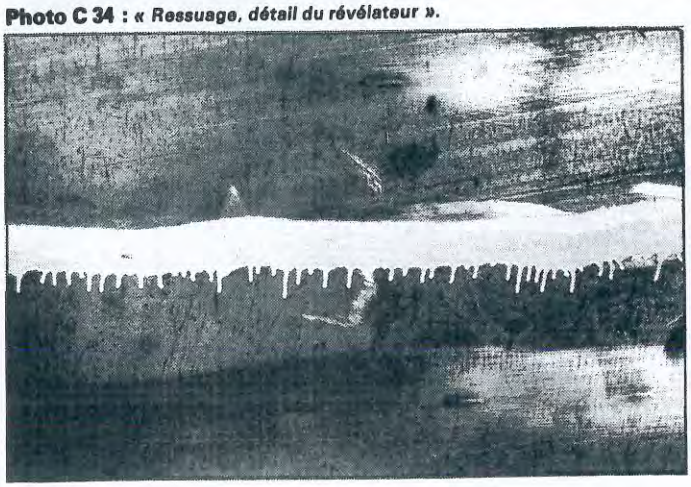


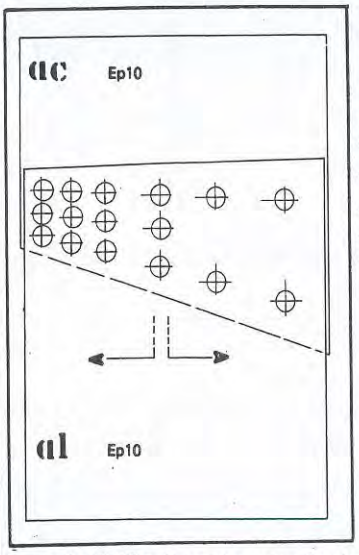
Photo C 32 : *« Ressuage le long de l'étrave et des brisures d'un Vulcain » (BRUMENT).*

Photo C 33 : *« Produits pour ressuage, révélateur et pénétrant ».*



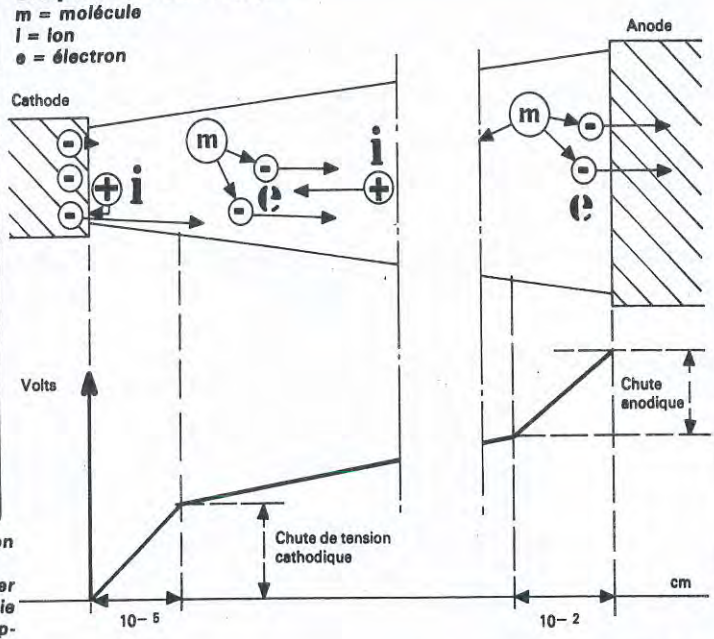
Photo C 34 : *« Ressuage, détail du révélateur ».*



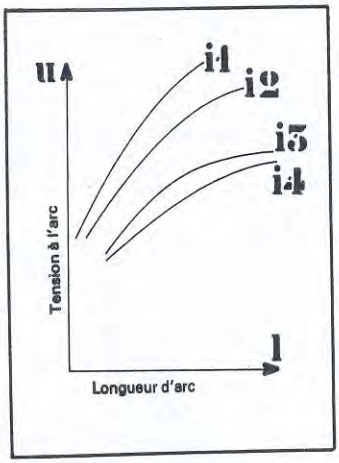


Croquis C 24 : *Corrosion par aération différentielle*
Une plaque d'alu et une plaque d'acier sont boulonnées ensemble. La partie gauche est très serrée et les vis sont rapprochées : pas ou peu de corrosion.
La partie droite est moins serrée et les vis sont espacées : forte corrosion par aération différentielle.
C'est l'aluminium qui est anode, l'acier est cathode.

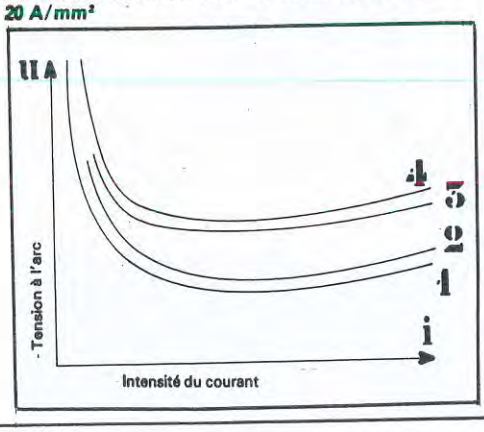
Croquis C 26 : *Arc électrique*
m = molécule
i = ion
e = électron



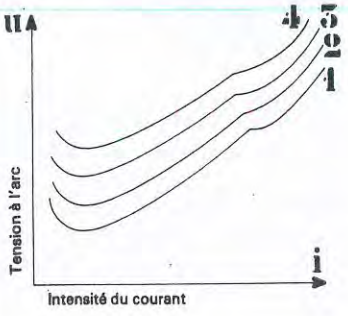
Croquis C 29 : *Tension à l'arc en fonction de la longueur d'arc*



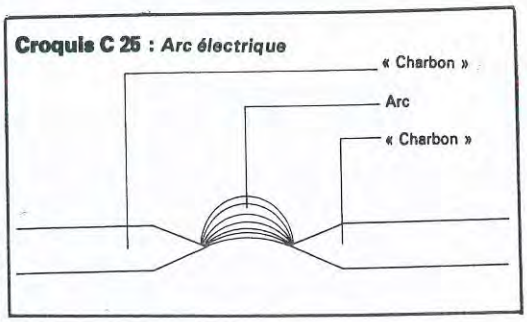
Croquis C 27 : *Tension à l'arc en fonction de l'intensité du courant pour des densités de 10 à 20 A/mm²*



Croquis C 28 : *Tension à l'arc en fonction de l'intensité du courant pour des densités de 50 à 200 A/mm²*



Croquis C 25 : *Arc électrique*



● **Les enrobages peuvent avoir des défauts :**

● **soit à cause de leur lieu de rangement :** si les enrobages neutres sont insensibles à l'humidité, les enrobages basiques (hygrophiles) doivent être stockés dans des lieux parfaitement secs,

● **soit à cause d'erreurs de fabrication :** les enrobages peuvent être décentrés sur la baguette, cassés, fissurés, ou peuvent présenter des différences d'épaisseur.

Veillez donc à leur qualité lors de l'achat, et conservez-les dans les conditions qui leur conviennent.

Voici un tableau comparatif des enrobages pour baguettes de soudure à l'arc électrique (électrodes) et des caractéristiques de leur cordon :

Nature de l'enrobage	Symbole	Conditions d'utilisation	Forme du cordon en angle intérieur	Configuration du cordon	Résistance mécanique
basique	B	A conserver en lieu sec	convexe	stries très nettes	très bonne
Rutile ou semi-rutile	R	utilisation facile	droit	bel aspect	bonne
neutre		insensible à l'humidité	droit	bel aspect	bonne
acide	A	surintensité possible	droit	bel aspect	bonne
Cellulosique	C	pour bords mal préparés	droit	bel aspect	moyenne
Volatil	V	peu usité	droit	aspect moyen	très bonne
oxydant	O	utilisé en serrurerie	concave	très bel aspect	faible

Voici un autre exemple de présentation de baguettes sur un carton :

Arcos : Soudure électrique industrielle,

Arcos, 52, rue Médéric, 92 Clichy,

Normend BA ; 3,15 ; E 345 R ; 160 ;

Fabrication n° 02 ;

R = 4.856 kg/mm² ;

E = 38/47 kg/mm² ;

A % = 5 d ⩾ 26 ;

kuf ⩾ 9 kgm/cm² ;

E — 343. R 21. NF 1 A 81-309.

« Soudage des aciers doux et demi-doux en toutes positions (grande souplesse de réglage du courant, quelle qu'en soit la nature).

Faible projection.

l'aspect du cordon en angle non positionné est remarquable.

L'aitier auto-détachable.

Courant alternatif : tension minimum d'amorçage : 50 V ou continu : polarité. Ou à la pince (négatif commandé)

Intensités ø	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3
A plat	40	60	90	125	180	240	350
Position difficile		40	75	100	140	200	

SPECIFICATIONS COMMERCIALES

ø	1,5	2	2,5	3,15	4	5	6,3
Long. (mm)	225	350	450	450	450	450	450
Quantité par paquet	400	125	160	160	100	75	50
Poids au mille (kg)	20	33	42,5	44	69	96,5	147

Il existe aussi des électrodes et fils de soudage à enrobage complexe utilisés en procédé M.A.G., « Métal active gaz », pour souder de fortes épaisseurs...

SOUDAGE MANUEL A L'ARC

Dans cet ouvrage, il n'est bien entendu pas possible de réaliser à la fois toutes les descriptions des métaux traités, acier et aluminium, et d'analyser à fond les techniques de mise en œuvre et de soudage qui les concernent.

Vous aurez avantage à vous reporter à des publications spécialisées de l'Office de l'acier (O.T.U.A.) de l'Institut de l'aluminium (I.F.T.A.), de la soudure autogène française (S.A.F.), du centre technique du zinc, etc.

Voici quelques notions concernant le soudage manuel à l'arc.

PREPARATION DES BORDS

Je vous propose quelques types de préparations de « joints » ou de bords de pièces et de tôles. Ces préparations dépendent d'un grand nombre de facteurs, comme le procédé de soudage, la position de soudage, l'épaisseur des pièces, la nature exacte du métal, le type d'assemblage, la pénétration de soudure recherchée.

Notons les préparations expliquées par les dessins qui les représentent :

● bords relevés : peu employée en soudage à l'arc dans l'air ;

● bords droits sur chant ou sur tranche ;

● bords droits avec assemblage bout à bout.

Bords droits avec assemblage bout à bout		
Type de soudage	Epaisseur en mm	Ecartement en mm (ou en fonction de l'épaisseur)
Soudage d'1 seul côté, en toute position	1,5 à 2,5	$\frac{e}{4}$ à $\frac{e}{3}$
Soudage des 2 côtés	2,5 à 5	0 à $\frac{e}{2}$
à plat	5 à 7	1,5 mm à $\frac{e}{2}$
Soudage des deux côtés en corniche ou verticale	2,5 à 5	0 à $\frac{e}{2}$

Bords droits avec support sur l'envers : cette technique est utile s'il n'y a pas de possibilité d'accéder aux deux côtés de la soudure. Elle assure une bonne pénétration.

Epais. en mm	Ecart. en mm	Diam. de l'électrode	Nature du support
— de 3	0 à 3	2,5 à 3,2	acier
3 à 5	3 à 5	3,2 à 4	acier
5 à 8	8	4	acier

● Bords chanfreinés en V

Les caractéristiques du chanfrein en V sont :

● son angle d'ouverture : α

● la petite partie de bord droit qu'on laisse au pied du V : S

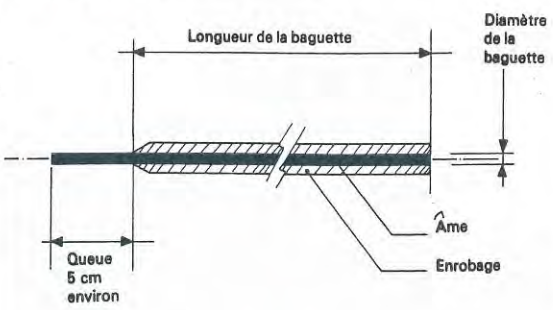
● l'écartement G entre les pièces à souder. **on en déduit ce tableau :**

CORNICHE			
Soudure	Angle α en degrés	Haut du bord droit S en mm	Ecartement en mm
Toutes positions	60°	0 à 3	1 à 2
Au plafond	70°	1,5	1 à 2
Corniche Tôle supérieure	55°	1 à 3	1 à 3
Corniche Tôle inférieure	10 à 15°	0	
Tubes	75°	1 à 3	0 à 2

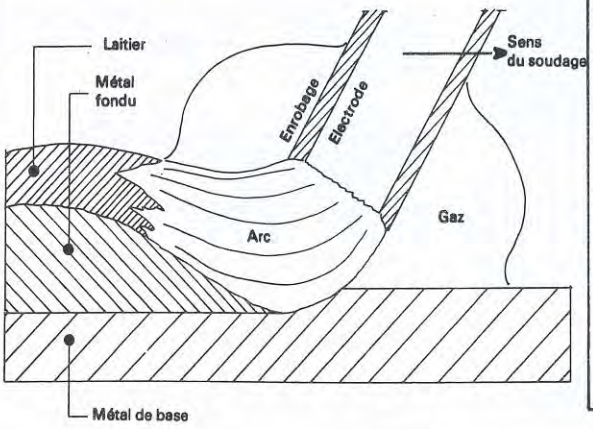
● **Bords chanfreinés en X**

Pour des tôles épaisses et obtenir une totale pénétration ou une bonne présentation de chaque côté, on peut biseauter les deux côtés des tôles en V, ce qui donne un X. Selon l'épaisseur des tôles, le X laissera au milieu des tôles une arête fine, ou une partie de plat que j'appelais tout à

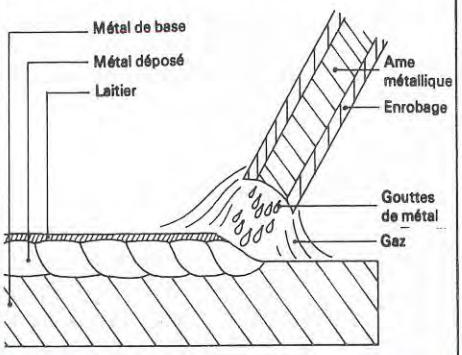
Croquis C 30 : *Electrode enrobée*

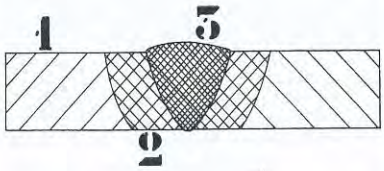


Croquis C 31 : *Soudage des aciers doux.*
Dans de bonnes conditions (inclinaison de baguette, vitesse, intensité), l'arc attaque le métal de base. Si la vitesse est insuffisante, le métal fondu reste sous l'arc et n'est pas chassé, comme ici, vers la gauche.



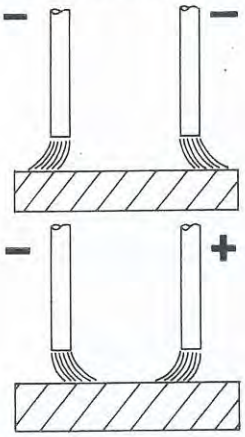
Croquis C 32 : *Arc avec électrode enrobée*

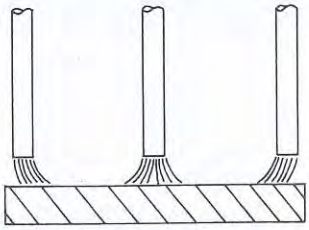




Croquis C 33 : *Zones d'un « joint soudé »*
1 = Métal de base
2 = Zone de transformation. La température y a été supérieure à 723°.
3 = Zone de fusion. Le métal d'apport s'est mélangé à du métal de base fondu. Exprimé en %, cette part de métal de base fondue est la « dilution ».

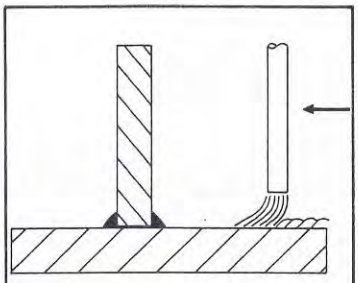
Croquis C 34 : *Les champs magnétiques de deux conducteurs créent des forces qui s'influencent réciproquement en courant continu.*



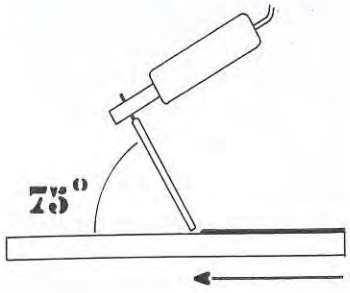


Croquis C 35 : *Du début à la fin d'un cordon, l'arc est dévié par sa position par rapport à la prise de masse. Courant continu.*

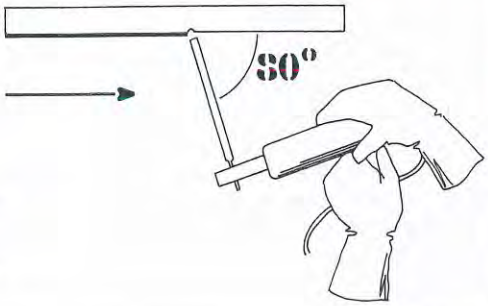
Croquis C 36 : *Courant continu : une masse métallique influe sur le sens de l'arc*



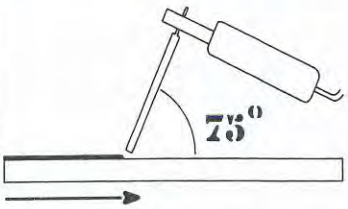
Croquis C 38 : *« Soudage à gauche »*



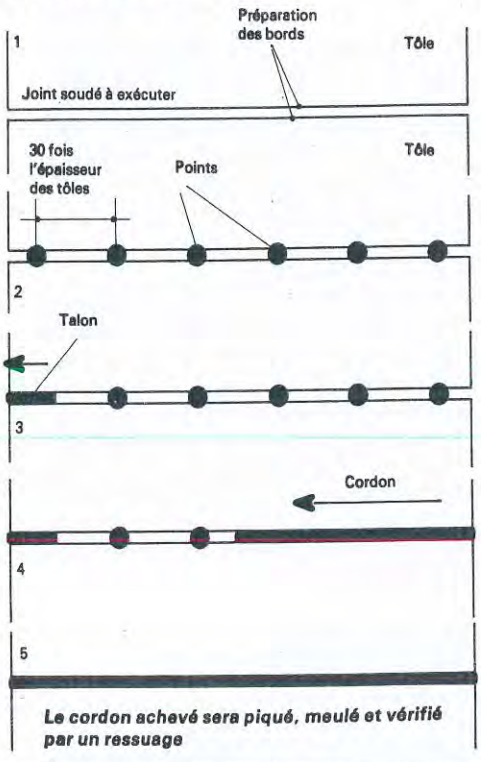
Croquis C 39 : *Soudure au plafond*



Croquis C 37 : *Soudage à droite*



Croquis C 40 : *Chronologie d'exécution d'un cordon de soudure*



Le cordon achevé sera piqué, meulé et vérifié par un ressuage

l'heure, pour les chanfreins en V, une petite partie de « bord droit ».

Le X peut être symétrique ou plus profond d'un côté que de l'autre.

L'angle supérieur du X varie de 60 à 90° ; l'écartement entre les tôles varie en fonction de leur épaisseur.

La largeur du rebord entre les deux parties du X varie de 0 à 2 cm

● **Autres chanfreins**

Ils sont basés sur le V ou le X. Lorsqu'ils sont dissymétriques, ces chanfreins s'appellent alors demi-V, en K ou en Y.

Il existe aussi des chanfreins en U dits « en tulipe », le demi-U étant appelé « J », Il existe aussi des U partiels et des préparations mixtes.

Avec des électrodes à forte pénétration pour tôles épaisses (plus de 5 mm), on note le tableau suivant qui indique l'écartement entre les tôles.

Epaisseur en mm	5	6	8	10	12	14	16	Plus de 16
Ecartement par soudage bord à bord	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3
Ecartement par soudage en angle	0,5	1	1,5	2,5	3	3	3	3 à 4

Pour des épaisseurs supérieures à 16 mm, on opte en général pour un chanfrein partiel en V ou en Y.

Voyez les dessins qui décrivent ces préparations.

MODE OPERATOIRE

Le rôle et la responsabilité du soudeur sont grands puisque de son travail dépend en grande partie la solidité des ouvrages dont la cohésion est liée à la qualité de la soudure.

Un stage de soudure permettra à un particulier d'apprendre le nécessaire pour souder son bateau en construction amateur. Beaucoup l'ont fait et ont mené leur travail à bon terme. Cependant, on peut conseiller d'avoir recours au professionnel pour le soudage d'un bateau construit en amateur. Et on peut aussi bien conseiller à l'artisan qui veut créer un chantier de construction navale de s'entourer d'un maximum de conseils sur le soudage et d'effectuer des stages. Beaucoup d'organismes organisent de tels stages de huit à quinze jours, très utiles pour qui veut faire œuvre de soudage.

Voici un ensemble de conseils généraux qui défrichent ce terrain et seront utiles à l'artisan et à l'amateur. En effet, si la construction amateur est si vivace en France, c'est aussi grâce à cet encadrement qui s'est crée avec elle et dont elle peut puiser l'expérience sans laquelle des erreurs l'auraient fait condamner par les administrations et groupements de professionnels qui ne lui vouent guère d'amitié spontanée !

LE POINTAGE CHENILLAGE

Pour amorcer et entretenir l'arc, le soudeur doit tenir compte de tout ce qui a été dit sur la création de l'arc électrique et sa description.

Pour préparer son travail de soudage ou simplement pour lier des pièces sans recherche d'étanchéité, on pointe et chenille les tôles.

Pointage

Lorsqu'une seule passe sera effectuée d'un seul côté des tôles, avec des électrodes à forte pénétration par exemple, on pointe au revers du côté duquel sera fait le cordon. Les points peuvent être faits avec des baguettes d'un plus petit diamètre que celles du soudage. Pour un bateau, le diamètre de pointage pourra être de 2,5 mm. Le diamètre de soudage étant 3,5 mm. Les points sont des touches de 2 cm de long environ. Ils doivent être sérieusement faits pour ne pas casser lors du soudage. Lorsqu'on prépare le bordé d'un bateau, on bride les tôles entre elles en les pointant. Les points seront de 2 cm, espacés, pour un professionnel d'environ 30 cm, pour un amateur, d'environ 10 à 15 cm.

Lorsqu'il sera exécuté un cordon de chaque côté des tôles, on effectue en général le pointage du côté le plus commode : l'extérieur.

Le premier cordon est alors fait à l'intérieur. Puis on le rouvre par l'extérieur en coupant de ce fait les points qu'on meule. Enfin, on exécute le cordon extérieur dit « à cœur ». J'y reviens dans le long chapitre sur la construction amateur ou artisanale d'un bateau en acier.

Chenillage

Lorsque le pointage doit être définitif et tient des éléments de structure au bordé, on préfère un chenillage. Les chenilles sont des points allongés. Ils mesurent environ 5 à 7 cm de long et sont espacés de 10 cm environ, en quinconce. Ceci est très important et encore beaucoup de chantiers ne chenillent que d'un seul côté ! Voyez plus loin les normes Véritas pour un chenillage serré, de sécurité.

PRECHAUFFAGE

Pour souder les fontes, certains aciers et des alliages, il est préférable de chauffer la zone à souder avant de passer à l'exécution des cordons. On pensera aussi à cette technique lorsqu'on travaillera en plein air ou dans un atelier non chauffé et que la température du métal sera basse. La technique du préchauffage est la même que celle des chauffes de détente.

SOUDURE A PLAT BOUT A BOUT OU EN ANGLE EXTERIEUR

L'électrode est maintenue dans le plan de symétrie des pièces à souder et inclinée de 70° à 75° sur l'horizontale. Lorsqu'on soude en courant continu, on redresse l'électrode en arrivant à l'extrémité de la pièce et on la bascule à l'envers du côté de la fin du cordon pour combattre le soufflage.

Trop vertical, le laitier n'est pas refoulé sur le sommet du cordon liquide et provoque des inclusions. Trop incliné, le métal fondu ne tombe pas d'une façon régulière et l'aspect du cordon s'en ressent.

Voyez les dessins qui montrent les deux cas de positions à droite ou à gauche. L'angle aigu de 70 à 75° est toujours du côté opposé au cordon, avec la tôle non encore soudée. Pour la première passe d'un cordon fait en plusieurs passes, on peut incliner l'électrode à 60°.

SOUDURE EN ANGLE INTERIEUR EN GOUTTIERE

La position en gouttière signifie que l'angle formé par les tôles n'est pas horizontal mais incliné, en pente. Le soufflage, pour un soudage en courant continu est plus important qu'à plat. On soude en utilisant une électrode d'aussi petit diamètre que possible, compte tenu de l'épaisseur des tôles. On travaille avec le courant maximum possible selon ce diamètre. Lorsqu'on fait plusieurs passes, la première est faite ainsi que je viens de le décrire. Les autres sont faites avec une électrode plus grosse et une intensité normale. Le soudage se fait en montant ou descendant la pente.

ANGLE INTERIEUR A PLAT

La première passe peut être faite avec une électrode de diamètre réduit. Elle est faite en tenant l'électrode à 45° ou dans le plan de symétrie ou dièdre formé par des tôles. L'électrode est tenue plus verticalement pour la seconde passe et au contraire plus inclinée pour la troisième.

En une seule passe, on ne balance pas l'électrode latéralement. Pour la passe de fond non plus.

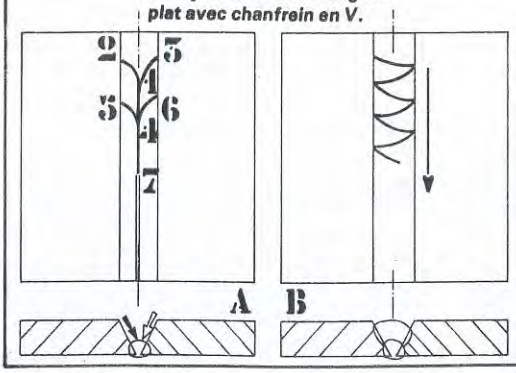
Lorsqu'une tôle mince est soudée sur une tôle épaisse, on rapproche l'électrode plus de la tôle mince que de la tôle épaisse.

CORNICHE

Le plan de soudure est horizontal, tandis que les tôles à souder sont toutes deux verticales. C'est le cas de la soudure à recouvrement ou « Clin ».

Pour la première passe, l'électrode est tenue presque à 90°. Pour la seconde

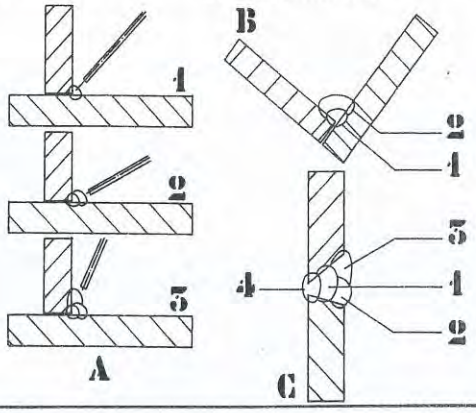
Croquis C 41 : ***Soudage à plat avec chanfrein en V.***



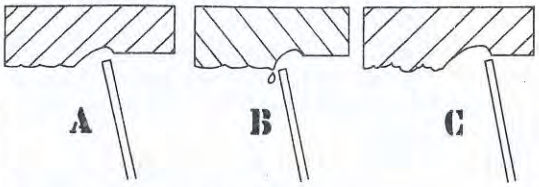
A : 1re passe avec reculs et avances pour bien chauffer le métal et effectuer une parfaite pénétration.
B : Autres passes de remplissage avec balancements latéraux et avances.

Croquis C 42 : ***Chronologie des passes.***

A : Soudure en angle intérieur.
B : Soudure en gouttière.
C : Soudure en corniche.

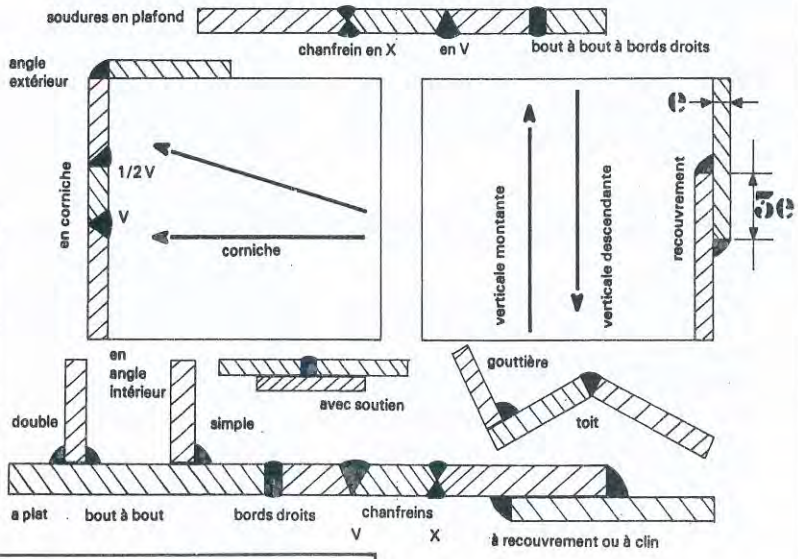


Croquis C 43 : ***Soudage au plafond. Position de l'électrode par rapport au cratère.***

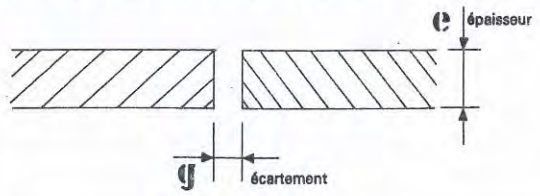


A : bonne position, l'avance = 1 diamètre.
B : Electrode en retard, le bain coule.
C : Electrode en avance, cordon irrégulier.

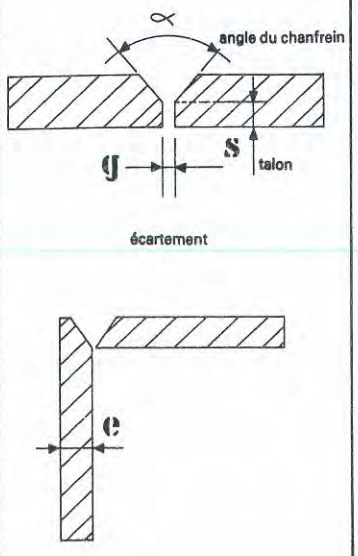
Croquis C 44 : ***« Positions et préparations de soudures ».***



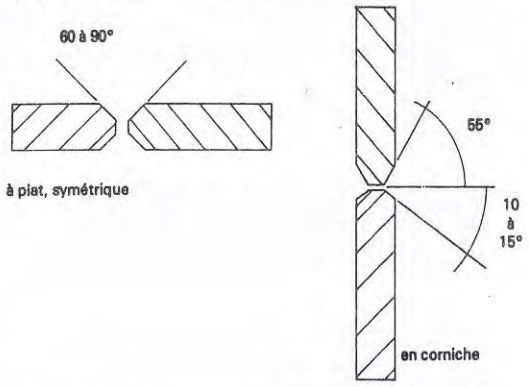
Croquis C 45 : ***Bords droits bout à bout***



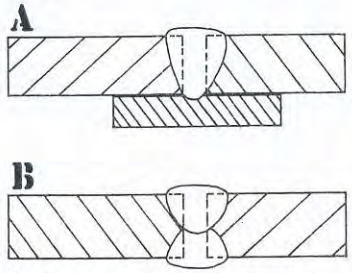
Croquis C 46 : ***Chanfrein en V***



Croquis C 47 : ***Préparations en X***

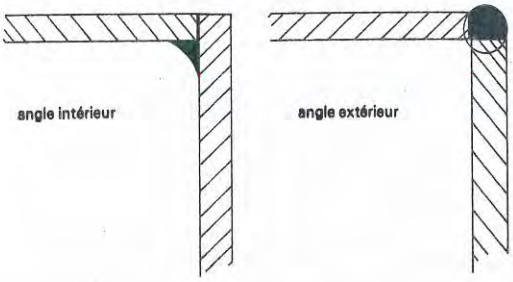


Croquis C 48 : ***Soudage de tôles épaisses, bout à bout, à plat, à bords droits sans chanfrein.***

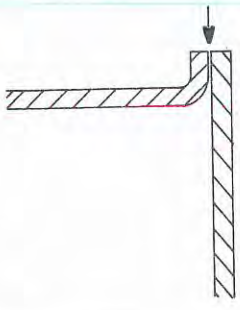


A : Soudage d'une seule passe en surintensité avec support cuivre sur l'envers.
B : Deux passes.

Croquis C 49 : ***Soudures en angles.***



Croquis C 50 : ***Bords droits sur chant.***



passe, on la redresse vers la verticale, à 60° par rapport aux tôles. Pour la dernière passe, on incline l'électrode à 100° sur la verticale, donc en dessous de l'horizontale. On l'incline aussi à 70° dans le sens de déplacement de l'électrode.

VERTICALE MONTANTE

Les soudures verticales montantes sont de type « *bout à bout* », à recouvrement ou en angle.

On les soudera en une passe, une passe de chaque côté, ou plusieurs passes larges ou étroites. Il est bon, au-dessus de 5 mm, de chanfreiner en V ouvert à 70° les bords d'une soudure bout à bout. Il faut tenir l'électrode à 105° avec la verticale et balancer l'électrode par la première passe. Les autres passes sont faites avec un simple balancement latéral, plus serré pour la dernière passe. En construction navale, on rencontre peu de soudures verticales montantes sur tôles très épaisses, sauf pour des bateaux ainsi spécialement conçus.

VERTICALE DESCENDANTE

Il existe maintenant des électrodes à grande viscosité dont le laitier moins liquide coule moins vite. On note moins de déformations de tôles qu'en montant. C'est une technique cependant délicate, réservée à quelques industries comme la fabrication des citernes.

Au fond, l'idéal est de toujours se trouver dans le cas d'une soudure à plat !!

PLAFOND

Il s'agit de soudures faites au-dessus de la tête du soudeur et qui ne font pas un angle supérieur à 5° avec l'horizontale.

C'est la flamme du plasma qui projette les gouttes de métal fondu selon le principe que je vous ai détaillé dans les descriptions de l'arc.

Les électrodes rutiles comme basiques conviennent bien par leur viscosité importante.

L'opérateur doit songer à se protéger contre des gouttes brûlantes qui peuvent tomber, et porter une cagoule et des gants montant jusqu'aux avant-bras.

A partir de 4 mm d'épaisseur de tôle, il convient de chanfreiner en V.

Le cas d'un pont de bateau présente cette particularité de ne pour ainsi dire pas contraindre à souder en plafond.

On soude par l'extérieur, dans une position excellente : à plat ! A l'intérieur, on trouve des soudures ou chenillages en gouttières.

L'électrode fait un angle de 80° avec la tôle soudée.

L'électrode forme un cratère dans la tôle. Le métal en fusion remplit le cratère. Le soudeur se recule au fur et à mesure que les cratères qu'il fait se remplissent. Il ne faut jamais s'arrêter en bout de cordon qui alors coule, puisque le métal déposé est refondu et goutte par gravité.

Voyez ce tableau pour des tôles de 2 à 4 mm.

Epaisseur des tôles en mm	2	3	4
Espacement (en mm)	0	1	1,5
Diamètre d'électrode en mm	2,5 ou 3,2	3,2	4
Intensité maxi. du courant (en Ampères)	85	120	130

SOUDURE A FORTE PENETRATION

En petite constuction navale de plaisance, on ne trouve guère de tôles de plus de 14 mm. Il s'agit de tôles épaisses mais pas de tôles très épaisses (de 16 à 50 mm).

Les tôles sont dites très minces en dessous de 2 mm ; minces de 2 à 4 mm ; épaisses au-dessus de 12 mm, et très épaisses au-dessus de 16 mm.

Classification un peu arbitraire, car dans certaines positions, des tôles épaisses sont à souder ou comme des tôles normales, ou comme des tôles très épaisses, par exemple.

Pour souder à forte pénétration des tôles de 5 à 14 mm, on opte pour des baguettes de 4 mm, une forte intensité (200 à 250 Ampères). Le courant alternatif est préférable au courant continu, qui à ces puissances provoque d'importants soufflages.

On choisira un poste ayant une tension à vide de 80 à 120 volts.

On soude à bords droits en une passe par côté.

Voyez ce tableau de l'écartement entre tôles :

Epaisseur en mm	5 à 10	10 à 14	14
Ecartement moyen en mm	0,5 à 1	2 à 3	3

Cet écartement doit être très régulier. Des variations trop importantes, de l'ordre du demi-millimètre peuvent provoquer des défauts de pénétration et des déformations des tôles.

On tient l'électrode perpendiculairement au plan du travail.

En angle, on ne la tient pas dans la bissectrice de l'angle, mais dans un angle de 10 à 15° avec la bissectrice comme le montrent les dessins qui illustrent cette technique.

TOLES TRES MINCES

On rencontre peu ce type d'exercice, sauf pour réaliser des réservoirs d'eau et de fuel.

On peut souder à l'arc des tôles de moins de 2 mm. On emploie des postes à tension à vide élevée, à caractéristique fortement tombante. On emploie des baguettes de moins de 2,5 mm à enrobage de moyenne épaisseur, rutile. On règle l'intensité sur les valeurs moyennes.

Les bords seront ajustés de façon parfaite et on gagnera à les rabattre.

FINITION DES CORDONS

Ce n'est pas seulement le cordon terminé qui doit être piqué et brossé, mais chacune des passes d'un cordon. Dans le cas contraire, le laitier de la passe précédente se retrouve en inclusion dans la suivante.

Le cordon est piqué avec un marteau à piquer, puis brossé. Souvenez-vous de ce travail sur l'aluminium, qui était très différent. Ici, on pique avec la pointe du marteau. Le laitier des baguettes rutiles est important et doit être parfaitement enlevé.

Il faut porter des lunettes protectrices, pour éviter de recevoir un éclat de laitier dans les yeux. C'est très important !

C'est le moment de faire des reprises si, par une observation minutieuse à l'œil, on décèle des manques de métal, des fissures, des cratères, des collages. Il faut buriner le cordon de mauvaise qualité et effectuer un rechargement qui toutefois ne doit pas trop dépasser le reste du cordon. A tous les endroits très apparents, ou qui donneront lieu à des frottements abondants, les cordons doivent être meulés et effleurés. Laisser en relief des cordons, sur le pont, aux angles du roof et du cockpit, sur la coque, ne peut qu'annoncer une dégradation rapide du revêtement peint qui y sera fait ! Les cordons de bouchains au-dessus et au-dessous de l'eau, de quille, de gouvernail, de pont, de roof, de cockpit, doivent être meulés pour ensuite être traités comme le reste du bateau et peints. Par ailleurs, le meulage améliore l'homogénéité du travail du métal à la fatigue en supprimant les contraintes dues aux brusques surépaisseurs.

PROBLEMES D'ARC ET DE SOUDAGE

Certaines difficultés du soudage peuvent provenir de mauvais réglages ou d'erreurs qui affectent l'arc. En voici quelques-uns.

● La longueur de l'arc est normale, mais il s'éteint. L'arc ne s'allume pas :

• défaut de serrage de l'électrode dans la pince,

• l'enrobage de l'électrode empêche le contact,

• l'intensité est insuffisante,

• un câble est sectionné, une cosse desserrée.

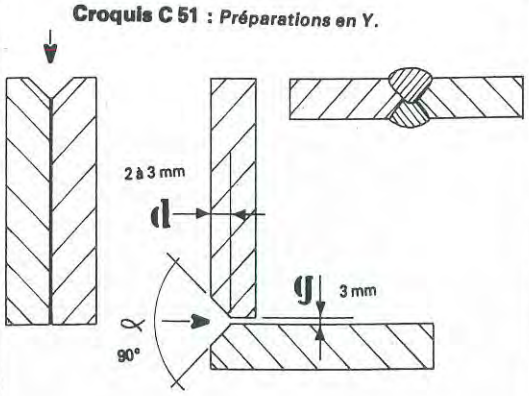
● La pince porte-électrode chauffe trop :

• le câble n'est pas d'une section suffisante,

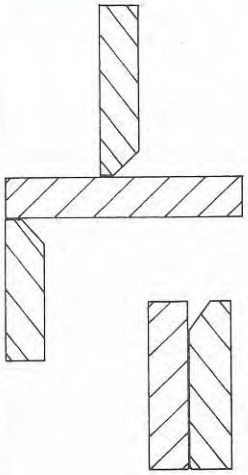
• le câble est en partie sectionné,

• le câble est mal connecté.

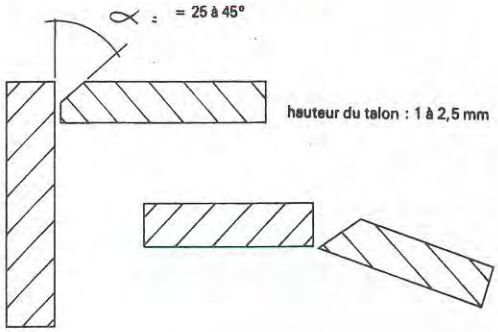
Croquis C 51 : *Préparations en Y.*



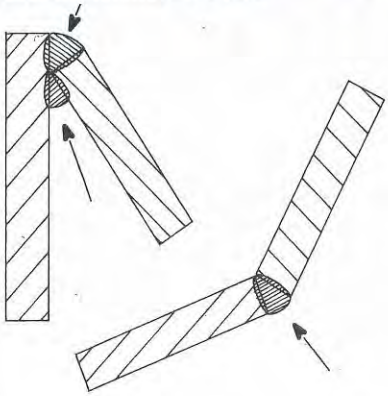
Croquis C 52 : *Préparations en demi-V partiel.*



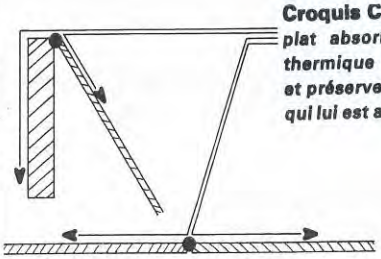
Croquis C 53 : *Préparations en demi-V*



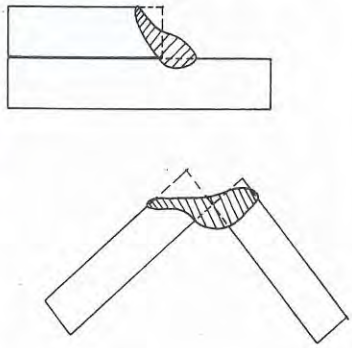
Croquis C 54 : *Chanfreins naturels dus aux angles formés par les tôles.*



Croquis C 55 : *Un fer plat absorbe le choc thermique du soudage et préserve ainsi la tôle qui lui est assemblée.*

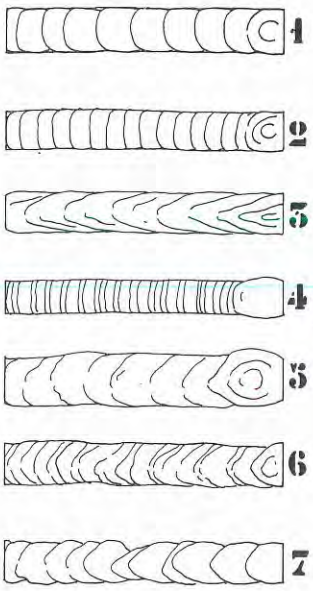


Croquis C 56 : *La chaleur de l'arc peut fondre les arêtes des pièces à souder.*



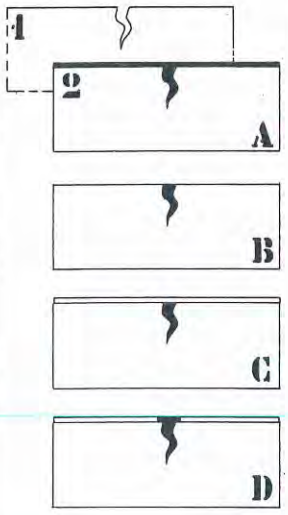
Croquis C 57 : *Aspects des cordons.*

1 : Cordon de bonne qualité.
2 : Cordon réalisé avec une vitesse insuffisante.
3 : Soudage trop rapide.
4 : Intensité de soudage insuffisante.
5 : Intensité excessive.
6 : Longueur d'arc insuffisante.
7 : Longueur d'arc excessive.



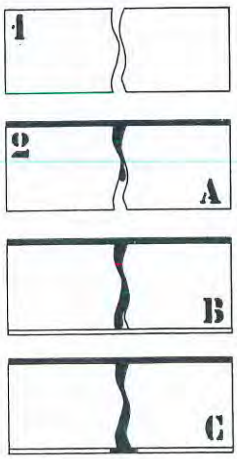
Croquis C 58 : *Révélation d'une porosité non traversante.*

1 : La porosité telle quelle reste invisible à l'œil.
2 : Révélation :
A : Badigeonnage du liquide révélateur.
B : Lavage et séchage ; le liquide reste dans les interstices.
C : Couche de talc ou de blanc.
D : Le liquide mouillant remonte dans le blanc et signale la porosité.



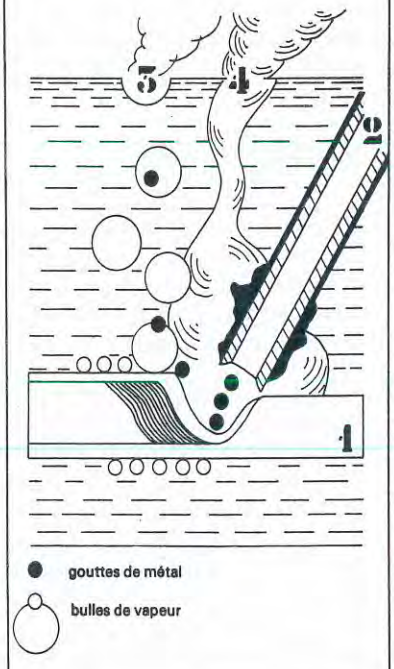
Croquis C 59 : *Révélation d'une porosité traversante.*

1 : La porosité n'est pas visible sans système révélateur.
2 : Révélation :
A : Application de pétrole ou d'un liquide mouillant ou gras.
B : Application sur l'autre face d'un blanc ou de lait de chaux.
C : Le pétrole apparaît dans le lait de chaux et révèle la porosité traversante.



Croquis C 60 : *Soudage à l'arc sous l'eau.*

1. Pièce à souder.
2. Electrode avec son enrobage et sa gaine de vernis.
3. Vapeurs.
4. Gaz.



● **L'arc claque et fait trop de projections :**
- intensité excessive,
- soufflage magnétique, erreur de polarité (courant continu), • l'arc est trop long.

● **L'arc ronfle et n'est pas stable :**
- vérifier si la prise de masse n'est pas trop proche,
- l'arc est trop long.

● **L'électrode rougit :**
- intensité excessive.

● **L'électrode « colle » aux tôles :**
- intensité insuffisante.

● **Manque de pénétration :**
- vitesse de soudage excessive ;
- intensité insuffisante ;
- préparation des bords inadéquate ;
- électrode trop grosse ou trop fine ;
- l'arc est trop court ;
- la tension à vide est trop basse.

L'ENTRETIEN DU MATERIEL DE SOUDAGE

Après avoir parlé du soudage, voici quelques mots sur l'entretien du matériel. Professionnel ou amateur, vous avez acheté suffisamment cher votre outillage pour ne pas avoir envie de le laisser s'abîmer et devenir inutilisable.

Je connais même des amateurs belges qui ont acheté le matériel nécessaire au sablage et à la métallisation des bateaux en acier. Ils se sont groupés et louent maintenant leur matériel à ceux qui en ont besoin. Un bon exemple de lucidité et de dynamisme. **Le point de l'entretien des appareils doit absolument être abordé avec le vendeur, le fournisseur :** garantie, assurance, contrat d'entretien. Les responsabilités doivent être délimitées en cas d'avarie et si possible, vous devez vous faire expliquer le montage des pièces pouvant être source de pannes ou demandant un entretien périodique.

Postes rotatifs

L'entretien en est assez aisé car c'est un appareil assez peu délicat avec peu de pièces en mouvement. Rappelons qu'en général, il ne permet pas de souder les bouchains en basique. L'utilisation de baguettes à enrobage basique étant plutôt limitée au soudage des tôles *« très performantes »* type Marinor, etc., ce n'est pas très grave. Vous pouvez avoir besoin de souder ou de pointer de temps à autre pendant deux à quatre ans, selon la taille de votre bateau ; d'autre part, le gros avantage d'un bateau acier est de pouvoir être réparé facilement n'importe où, aussi, vous avez tout intérêt à bien entretenir un petit poste statique que vous emporterez dans votre bateau si vous partez loin, dans des zones difficiles. Outre les réparations, conserver un poste dans votre bateau vous permettrait des modifications ou des adjonctions.

Transfo :

Tous les mois, il faut nettoyer les bobines, graisser les pièces en mouvement au bisulfure de molybdène à passer au pinceau. Régulièrement, il faut lubrifier à la vaseline le moteur du ventilateur de refroidissement.

Redresseurs : le transfo sera nettoyé des poussières qui peuvent y parvenir, le ventilateur sera nettoyé régulièrement.

Graissage : certains moteurs ont besoin d'être graissés, d'autres non. Certains nécessitent l'emploi d'un lubrifiant spécial à l'exclusion de tout produit liquide. Il faut donc avant d'agir, se renseigner et se reporter à la notice d'utilisation et voir la périodicité des manipulations.

Naïvement, mais par souhait d'éviter des surprises, je rappelle en passant que ces travaux se font après avoir débranché l'appareil, loin des poussières et de l'humidité, tout comme à l'abri d'un soleil *« tapant »*... tout comme l'entretien des winches.

Câblage : il faut aussi le vérifier à chaque opération de graissage. Il faudra resserrer régulièrement les cosses.

Poste rotatif

Convertisseurs : leurs contacts doivent périodiquement être remis à nu, désoxydés par frottage. Rhéostats, démarreurs et contacts doivent parfois être graissés. Même remarque que ci-avant. Idem pour les roulements à billes.

Lors du nettoyage, il faut procéder logiquement et ne pas déplacer les poussières d'un organe sur un autre déjà nettoyé. Basculer le poste peut être souhaitable.

Balais : les charbons doivent coulisser librement dans leurs pinces. Leur pression, leur ajustage, leur usure doivent être vérifiés. Passé 1,5 cm, il faut les remplacer.

Changeur de fréquence : nécessite un examen trimestriel de ses roulements et de ses balais : et un examen mensuel du noyau mobile qui sera passé à la graisse graphitée.

Collecteur : c'est l'organe délicat de la génératrice. Ses charbons doivent laisser une trace nette, bleu noir. Les irrégularités sont signe d'une anomalie de fonctionnement. Le soufflage du collecteur est une opération mensuelle et on le nettoie avec de l'alcool sur un petit coton. Un spécialiste devra en général être consulté au sujet de la couleur de sa surface.

Noire : c'est en principe un signe de manque de mobilité des balais.

Rouge : c'est un signe de surchauffe.

Les opérations à répéter régulièrement sont le resserrage du réseau des câbles et le dépoussiérage, en soufflant si possible.

De manière générale, tout l'outillage doit être soigneusement entretenu, buses de chalumeau, meules, perceuses, matériel de sablage.

DEFAUTS DE FONCTIONNEMENT

Poste statique

Pas de production de courant par un appareil rotatif : balais en mauvais état, coupure dans le câblage, défectuosité dans l'excitation de la génératrice.

Pas d'amorçage de l'arc : court-circuit dans le câblage du soudage.

Pas de démarrage : mauvais réglage de la tension d'alimentation. Si l'appareil bourdonne sans tourner, c'est qu'un fusible a grillé ou qu'une connection est douteuse. Ou encore que le démarreur est en faux contact.

Surcharge : elle provoque un coupe-circuit : disjoncteur.

Instabilité du réglage de tension : desserrage de la mise à la masse, de la baguette dans le câblage.

Bobinages du courant induit défaillants.

Etincelles : même raison que ci-dessus. Saillie des feuilles de mica sur le collecteur par rapport aux feuilles de cuivre avec lesquelles elles sont en alternance. Pression des balais trop faible. Couper tout de suite le courant d'alimentation avant que les connecteurs fondent, et réparer.

Postes statiques

Pas de ronflement du poste : défaillance du circuit à revoir à partir de la boîte de raccordement. Si les fusibles grillent, c'est un signe d'un court-circuit sur le circuit primaire... ou qu'ils sont de trop petit diamètre.

Vibrations : les pattes de fixation des circuits magnétiques doivent être resserrées.

Intensité instable : défaut de tension sur le réseau qui se répercute. Circuit de soudage à revoir.

Défaut d'amorçage d'arc : mauvais choix de tension de l'alimentation ou du courant de soudage. Tension à vide insuffisante.

Cette brochette de *« cas-types »* peut être complétée par des défauts usuels d'utilisation : encrassement, humidité, sont des causes de pannes.

Aussi est-il de première nécessité de prévoir un rangement de ces équipements coûteux et délicats en des lieux biens clos, secs, non soumis au gel d'hiver, aux brouillards et aux brouillards salins venant de la mer... ainsi qu'à l'abri des vols !

SOUDAGE A L'ARC SOUS L'EAU

Comme on le devine, cette technique concerne peu les chantiers navals de plaisance. Mais son côté spectaculaire la rend intéressante à raconter en quelques lignes.

L'arc électrique s'amorce par contact, comme dans l'air. Mais le maintenir allumé est plus délicat. L'arc est plus mordant sous l'eau que dans l'air. Au bout de l'électrode se forme un cratère plus profond.

L'arc est entouré d'une poche de gaz et de vapeurs qui forment des bulles qui éclatent en surface où naissent des nuages gris ou bruns pour les gaz et blancs pour les vapeurs. Les projections de gouttelettes de métal fondu sont plus nombreuses, atteignent une distance de 2 cm, et collent si bien qu'il faut les chasser au burin. Certaines gouttes de métal sont emportées vers la surface par des bulles de gaz.

On travaille en général en courant continu pour des raisons de sécurité bien qu'il soit possible aussi de travailler en courant alternatif. Les pinces porte-électrode sont parfaitement isolées et le câble qui amène le courant est tout à fait étanche.

En eau de mer, la pince porte-électrode s'abîme très vite.

Les électrodes sont revêtues d'un vernis qui les gaine de façon étanche. Ces vernis sont cellulosiques, vinyliques ou phénoliques ou encore à base de gomme laque.

Les enrobages sont oxydants, acides ou rutiles.

Un soudure exécutée sous l'eau est bien plus difficile à faire pour présenter les mêmes qualités qu'une soudure effectuée dans l'air. Le métal se refroidit très vite. Cela provoque des formations de composés fragiles pour des teneurs en carbone dépassant 0,04 %. Ces composés sont les raisons du faible allongement à la rupture et des faibles résiliences des pièces soudées sous l'eau.

Plus la profondeur augmente, plus les quantités de carbone, manganèse et silicium brûlés augmentent.

Les enrobages oxydants semblent être les meilleurs. On peut aussi couper l'arc, sous l'eau, avec un courant protecteur d'oxygène sous pression *(photos C 23 à C 34, croquis C 24 à C 60).*

10

LA CORROSION DE L'ACIER

Le fer, qui constitue le plus important pourcentage de l'acier, existe dans la nature à l'état d'oxyde de fer minerai. Dans l'acier, il tend à se combiner avec l'oxygène de l'air pour retourner à l'état d'oxyde de fer.

Des alternances d'humidité et de contact avec l'air provoquent la « *rouille* » à la température ambiante.

La calamine est une pellicule d'oxydes, bleutée, qui s'est formée pendant le laminage, à chaud.

La composition chimique de chacun de ces oxydes est différente, et différente de celle de l'acier. Mis en présence d'un électrolyte tel que l'eau de mer, il se forme une pile entre ces éléments dont le potentiel de dissolution est différent. Globalement, une masse d'acier provoque un effet de pile par rapport à un autre métal plongé dans le même électrolyte et raccordé à l'acier par un conducteur ou par contact direct.

Si le métal est électronégatif par rapport à l'acier (potentiel de dissolution plus faible : aluminium, zinc...), l'acier forme cathode et l'autre métal perd ses ions.

Si le métal est électropositif par rapport à l'acier (plomb, mercure, cuivre...), c'est l'acier qui perd sa matière.

Si bien qu'on se trouve en présence d'une variété multiple de formes de corrosions.

- au sein d'une même masse d'acier entre les différents éléments sains ou oxydés,
- au sein de la même masse d'acier entre différentes zones ayant subi des traitements thermiques (recuit par le soudage ou l'écrouissage par la mise en formes) ou des contraintes et fatigues,
- **entre l'acier et un autre métal** : corrosion galvanique,
- **au sein de la même construction d'acier entre une zone faiblement oxygénée et une autre plus aérée** : corrosion par aération différentielle. Cette corrosion se développe à la limite eau/air de nappes d'eau de mer en stagnation.

Ainsi, la calamine forme cathode par rapport au reste de l'acier qui, alors, se met à rouiller autour de la plaque de calamine. Si bien que l'on ne doit pas considérer une coque en acier comme un ensemble formant une pile par rapport à une autre construction, mais, en absence de tout autre traitement (acier nu, donc) comme une multitude de petites piles plus ou moins actives selon leur situation, l'aération, la fatigue du métal... Dans l'ensemble, ces phénomènes sont de nature électrochimique. L'acier a assez peu à souffrir de corrosion purement chimique dans l'usage habituel d'un bateau en eau de mer. De plus fortes concentrations d'acides ou autres corps corrosifs attaqueraient l'acier.

METHODES PREVENTIVES CONTRE LA CORROSION DE L'ACIER

Pour lutter contre la corrosion de l'acier, il convient de prendre un certain nombre de mesures bien connues et très au point qui donnent des résultats satisfaisants, fiables, durables dans le temps. Le plus sûr moyen reste préventif !

L'acier doit en général être revêtu. A nu sa corrosion est certes lente mais esthétiquement désagréable. Le problème de l'entretien de l'acier se résume absolument en ceci : « *faciliter la durabilité et conserver le bon état de son revêtement de surface* ». A la limite, le problème est moins l'acier que la couche protectrice de peinture dont on l'a enduit.

Pour cela, il convient :

- d'éviter les reliefs tourmentés, les recoins, les angles vifs, en bosse ou en creux,
- de ne jamais condamner l'accès à un coin, de toujours se ménager un accès au métal,
- d'éviter les surfaces horizontales d'autant plus que tôt ou tard elles « *pocheront* » et formeront des cuvettes où l'eau va stagner. Il faut donc donner de la pente à toute surface et si possible la bomber pour améliorer sa tenue. Je pense aux ponts, aux fonds de cockpit,
- d'éviter toute forme de stagnation d'eau en perçant et ménageant des anguillers,
- **d'éviter les ragages sur l'acier en interposant un matériau d'usure ou qui ne s'oxyde pas** : bois, plastique, caoutchouc, acier inoxydable.
- d'espacer les éléments de structure pour éviter de créer entre eux des interstices trop étroits pour qu'une surveillance ou un entretien corrects puissent s'y effectuer. Par exemple un puits de dérive doit être large et ample pour en faciliter l'entretien.
- d'effectuer autant que possible l'application du revêtement protecteur en atelier : tôles pré-peintes, éléments galvanisés, etc.
- les travaux de peinture et de revêtements s'effectuant en dernier temps, il faut d'une part veiller à avoir terminé tout autre travail de découpe, meulage, perçage, soudage, avant la mise en peinture, et d'autre part à laisser un temps de réflexion suffisant entre ces travaux sur l'acier et les travaux de peinture de façon à ne rien oublier et n'avoir pas de retouches à effectuer.

Le risque étant que lors d'un meulage ou d'un perçage effectué après l'application des laques de finition, les particules d'acier se piquent dans la peinture. On pourra rajouter des couches et des couches de laque, les pointes de rouille réapparaîtront longtemps en surface ! Par contre, la dureté des peintures de protection est en général suffisante pour éviter que les copeaux d'acier s'y piquent. Mieux vaut cependant avoir terminé absolument tout travail du métal avant d'aborder la peinture. Par contre, dans le cas d'un bateau en tôles pré-peintes ou électrozinguées, il est évident que les travaux se font tous à travers la pellicule de protection épaisse d'environ 15 microns en général. Les retouches de peinture se font au fur et à mesure sur les zones percées ou meulées. On meule avec des dis-

ques spécialement étudiés pour cet usage qui ne lissent pas le métal, ce qui nuirait à l'accrochage des peintures. On ne meulera pas avec des disques à tronçonner.

CHLORURES ET MÉTAUX

Voici quelques données fondamentales sur quelques formes de corrosions et l'influence des chlorures de l'eau de mer et des eaux saumâtres.

L'eau de mer doit son agressivité à diverses substances, principalement les chlorures, mais aussi des substances animales ou végétales et des salissures diverses. La nocivité de chacune de ces substances est accrue par la présence des ions-chlorures. Les chlorures aggravent des corrosions particulières comme la corrosion en crevasses, dite de contact, sous des salissures stagnantes et comme la corrosion galvanique. La première est une corrosion due à la formation de piles entre des régions hétérogènes, comme les piles d'aération différentielle. La seconde tient aux différences de caractéristiques électrochimiques de divers métaux dans un élément qui joue le rôle d'électrolyte, l'eau de mer en l'espèce.

Il s'agit des différences de caractéristiques de polarisation qui sont dues aux différences de propriétés physico-chimiques des surfaces métalliques placées ensemble dans le milieu électrolyte. L'importance du couple galvanique dépend de la différence des potentiels entre l'anode et la cathode, mais aussi d'autres facteurs dont la température de l'eau de mer.

L'agressivité des chlorures est due aux propriétés physico-chimiques de l'ion-chlorure. Il est capable de modifier fortement la couche protectrice des métaux qui se *« passivent »*. Cette perturbation est locale, et ainsi bien plus dangereuse que si elle s'étalait en corrosion uniforme. Dans l'ensemble, tous les métaux passivables sont susceptibles de subir cette corrosion localisée : fer, cobalt, cuivre, aluminium, chrome, et leurs différents alliages, mais suivant une plus ou moins grande importance.

Des défauts de la couche passive peuvent, dans certaines conditions, mener à une corrosion par piqûres due aux chlorures.

Mais si de plus le métal est soumis à des contraintes mécaniques par simple charge ou cycle d'efforts répétés, la corrosion est accélérée. Par exemple, la corrosion par les chlorures vient aggraver brutalement les fatigues dynamiques des métaux.

La corrosion sous frottement se trouve ainsi accrue.

CORROSION SOUS CONTRAINTE MECANIQUE

Cette corrosion s'appelle tantôt *« corrosion sous contrainte »*, *« sous*

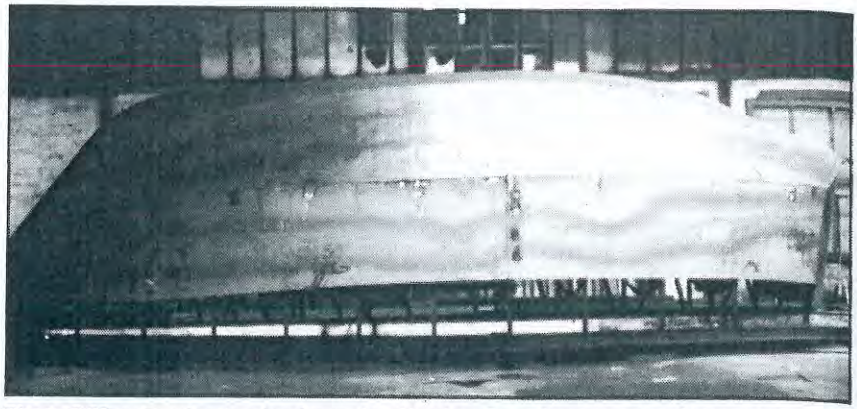


Photo C 35 : *« Dessins de calamine sur les tôles de ce 8 m acier en construction amateur. Photo Portier ».*



Photo C 36 : *« Dérive en acier avec parement en inox soudé ».*

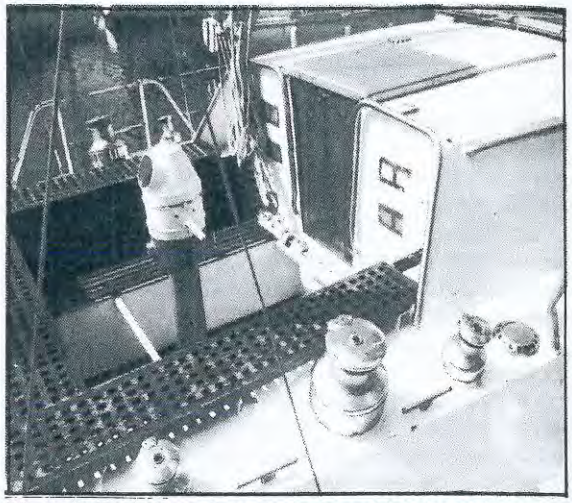


Photo C 37 : *« Notez l'excellente disposition des mains courantes en inox qui protègent les angles de ce roof, et le cockpit tout habillé de bois, parfait ! ».*

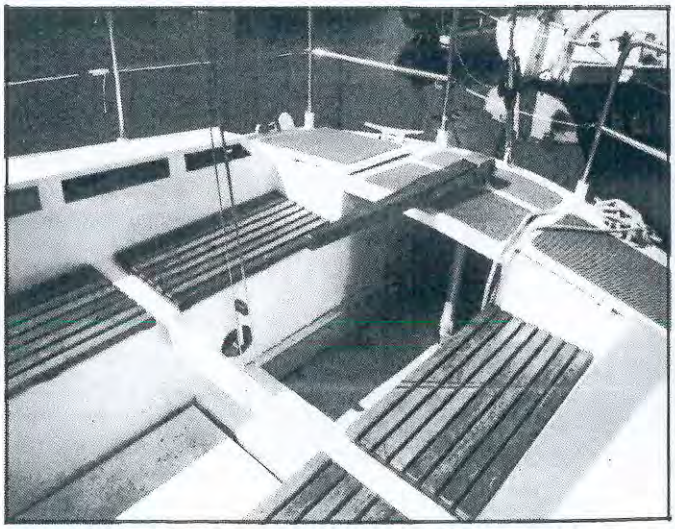


Photo C 38 : *« Habillage minimum d'un cockpit ».*

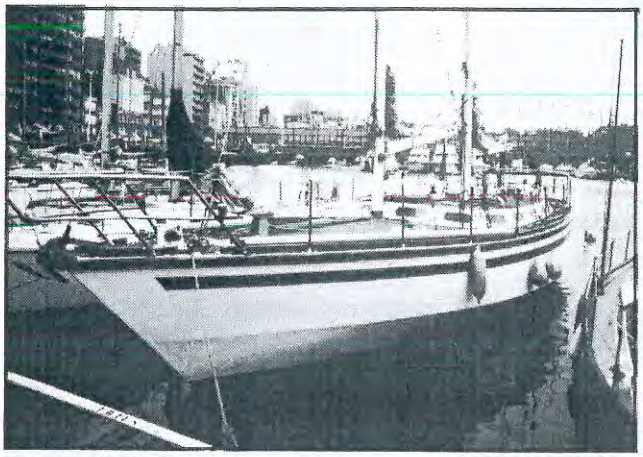


Photo C 39 : *La coque de ce bateau est plastifiée. Qu'on en juge, ça marche ! Mais c'est délicat à réaliser et lourd.*

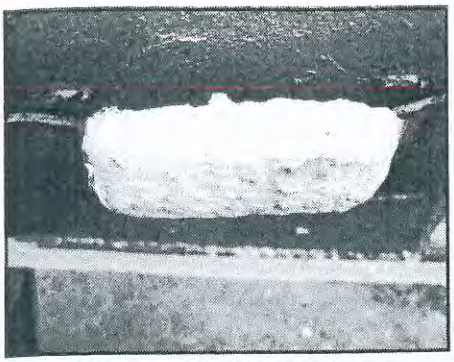
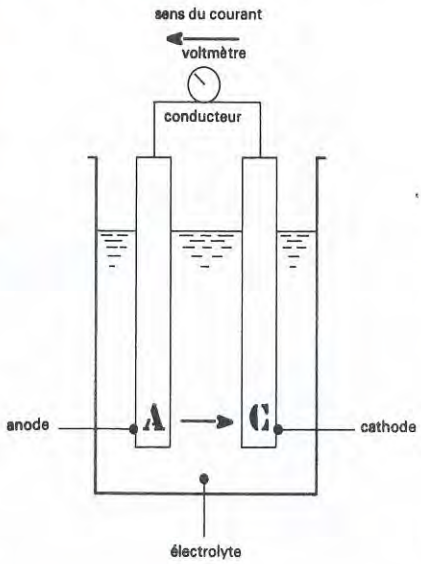
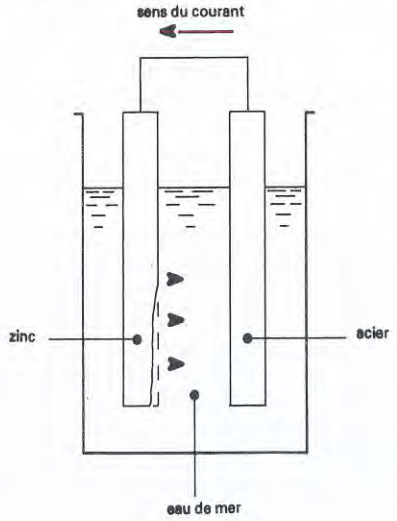


Photo C 40 : *« Une anode déjà consommée ».*

Croquis C 61 : *Schéma type d'une pile par effet galvanique ou effet de différence de potentiels de dissolution.*



Croquis C 62 : *Pile galvanique appliquée à l'acier.*



tension », le terme « *mécanique* » étant à chaque fois sous-entendu.

Dans certains alliages soumis à des contraintes mécaniques, de fines fissures apparaissent lorsque cela se passe en ambiance peu agressive. Ces fissures peuvent aller jusqu'à la rupture de pièces même de grande taille.

Trois conditions influent :

- la nature de l'alliage,
- la nature du milieu corrosif,
- la présence de contraintes mécaniques, traction.

Pour ce qui est des aciers et particulièrement des aciers inoxydables, on pensait que seuls les aciers inoxydables austéniques étaient sujets aux ruptures par corrosion sous tension. On a vu depuis, par des études poussées que les aciers inoxydables martensiques, à 13 % de chrome, certains aciers alliés et des aciers à durcissement structural subissent aussi cette forme de corrosion qui, de toute façon, guette tous les alliages, ou à peu près ! Cette corrosion sous contrainte étant liée directement à la passivation de ces alliages, et à des défauts de la couche passive.

La présence de l'eau de mer n'est pas suffisante sauf semble-t-il pour les alliages d'aluminium, pour parvenir à la rupture. La présence d'une température d'au moins 90 % reste une nécessité absolue... et elle est rare !

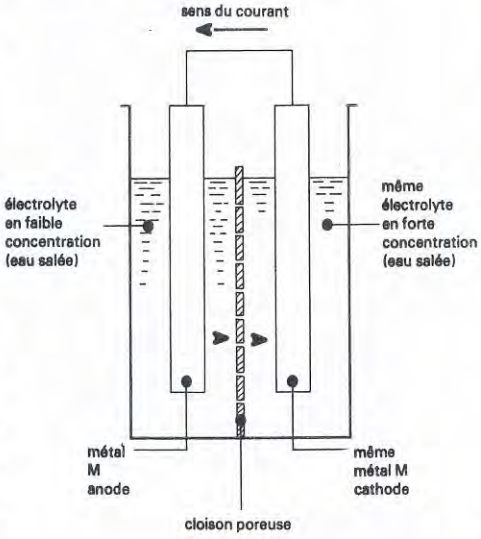
Ceci dit, l'étude est intéressante, et notamment elle fait apparaître que la contrainte dont il s'agit peut être effective, dynamique au moment de la rupture, ou résiduelle après un emboutissage ou un pliage par exemple.

CORROSION PAR PIQÛRES

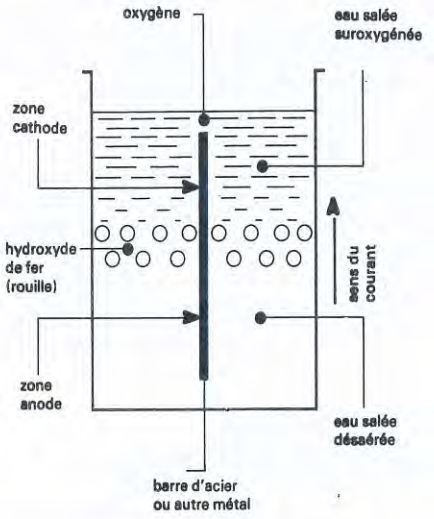
Pour beaucoup d'alliages, cette corrosion est dangereuse, car sournoise, localisée.

Une pièce peut être attaquée et percée très vite si le milieu est très agressif. Cette corrosion est jugée presque aussi dangereuse sous tension ou sous contrainte.

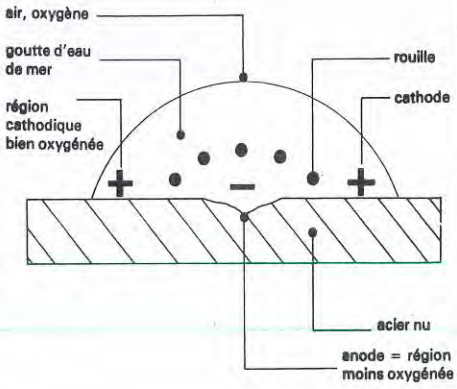
Croquis C 63 : *Pile par différence de concentration de l'électrolyte.*



Croquis C 64 : *Pile par aération différentielle.*



Croquis C 65 : *Principe de la corrosion par oxygénation différentielle.*



Cette corrosion se rencontre sur tous les alliages de cuivre, cobalt, aluminium, chrome et fer, c'est-à-dire pour ce qui nous concerne, dans la construction navale, les aciers, les alliages d'aluminium, les cupronickels.

Les chlorures mais aussi les bromures sont capables de cette corrosion pernicieuse et rapide, de même les hypochlorites. En absence d'oxygène, c'est la présence d'un cation oxydant qui provoque les piqûres. En présence d'oxygène, à peu près tous les chlorures sont agressifs.

On reconnaît vite une telle corrosion lorsqu'on l'a découverte. Pour les aciers inoxydables, on décrit une attaque profonde au centre d'une tache mauve ou violette, analogue à la trace laissée par une chaude retrait. Cette perforation se fait à l'emplacement d'une petite surface active (anode), au milieu d'une grande zone passive, qui est la cathode. Le rapport très déséquilibré entre l'anode minuscule et la cathode énorme est la raison de la rapidité de l'attaque.

Cette réaction n'intervient que si une substance vient perturber la couche passive et si un oxydant vient continuer la réaction de dissolution, car il s'agit bien comme dans une pile galvanique, de la dissolution pure et simple du métal dans l'eau de mer.

Mais pourquoi la piqûre commence-t-elle dans la couche passive ?

L'ion agressif chlore peut s'absorber dans la couche passive. Il en chasse l'oxygène et ainsi modifie la résistance de la couche passive, qui se forme par oxydation d'un des éléments de l'alliage. Ainsi, c'est l'oxydation du chrome qui passive les aciers inoxydables. L'ion chlore absorbé participe à des réactions d'hydrolyse qui amènent la formation d'un acide. Cette concentration acide provoque la fusion de la couche passive, dégageant le métal actif.

Mais des inclusions métalliques peuvent elles aussi, dans des soudures, produire le même résultat. De même d'autres inclusions comme une trace d'insecte ou d'animalicule, par exemple, qui seraient à l'origine d'un développement acide dans la couche passive (ou passivante).

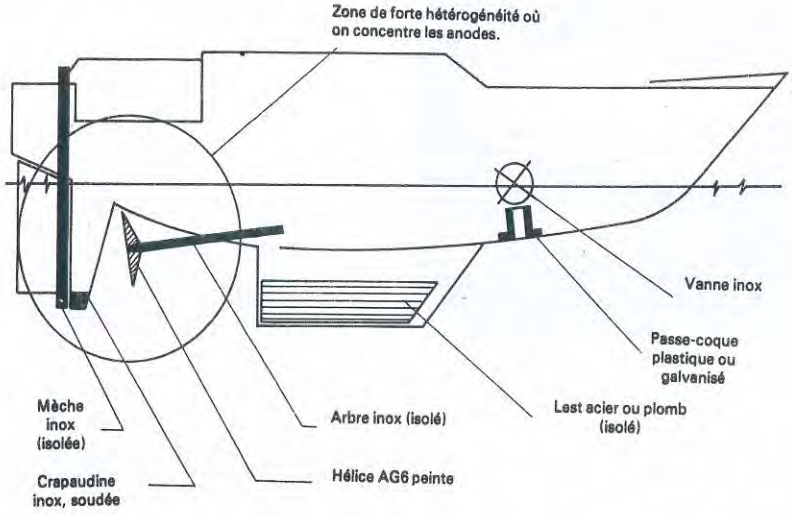
Il serait, à mon avis, trop rébarbatif et long de s'étendre sur l'influence de la structure cristalline du métal sur la structure de la couche passive. Des rayures, des défauts de surface même d'apparence bénigne peuvent être à l'origine de corrosions, car la couche passive n'est plus d'une tension électrochimique uniforme.

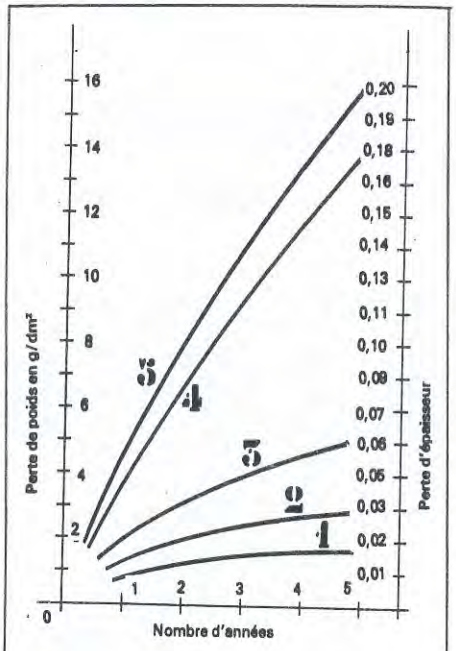
Il faudra donc se méfier particulièrement des métaux auto-passivants.

LES MÉTAUX AUTO-PASSIVANTS

Ces métaux qui sont considérés par les deux chapitres précédents et sont en règle générale des alliages d'aluminium, d'acier et de cupronickel s'auto-passivent, c'est-à-dire qu'ils se protègent de l'agressivité des agents extérieurs par l'oxydation d'un ou plusieurs de leurs composants. On penserait donc qu'il n'est pas utile de revêtir ces métaux d'une peinture !

Croquis C 69 : ***Hétérogénéités de matériaux par rapport à une coque en acier.***





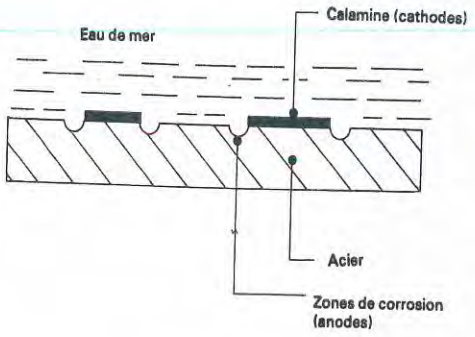
Croquis C 67 : ***Corrosion atmosphérique de l'acier.***
1 : Air pur et sec. Moins de 60 % d'humidité : Pas de corrosion.
2. : Air pur et humide. A 80 % d'humidité l'acier se corrode vite.
3. : Air marin méditerranéen.
4. : Air marin du Nord.
5. : Air humide et pollué.

Comme la corrosion n'existe qu'en présence de chlorures, ou rares autres ions agressifs, on peut conclure que :

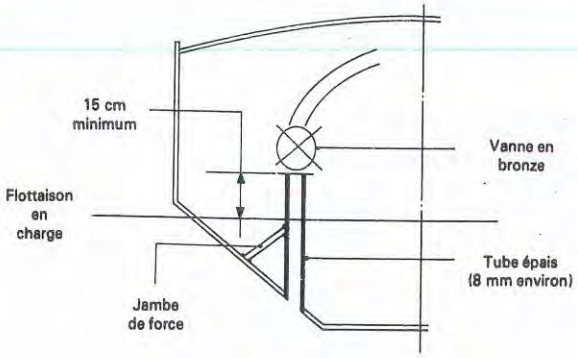
- le pont pourrait ne pas être peint s'il est régulièrement lavé à l'eau douce, eau de pluie ou eau du robinet.
- l'intérieur, dans les fonds, peut ne pas être peint s'il est régulièrement lavé à l'eau douce, et séché, ainsi que dépoussiéré pour éviter l'accumulation des salissures dans les recoins.
- le bordé émergé pourrait aussi ne pas être peint s'il était souvent lavé. Mais peut-on être sûr que de l'eau de mer ne stagne pas, déposant le sel humide (parfait chlorure), dans des rayures, et des zones moins lisses ? Aussi, maintenant, conseille-t-on de peindre le bordé à cause des embruns et des vagues qui déposent des chlorures sur le bordé émergé.
- Le bordé immergé, la carène, doit être peint du simple fait de son immersion dans un milieu riche en chlorures.

Ceci dit, les nécessités d'antifouling obligent à peindre la carène sous la flottaison. Je conseille d'ailleurs de remonter l'antifouling 15 à 20 cm au-dessus de la flottaison en charge.

Croquis C 66 : ***Corrosion due à des traces de calamine.***



Croquis C 68 : ***Pompages sous-marins, solution conseillée par META.***



Par ailleurs :

● les aciers ne sont en général pas soumis à ces types de corrosions et sont peints à cause de l'oxydation du fer qu'ils contiennent.

● les alliages d'aluminium semblent assez sensibles à ces types de corrosions.

● certains aciers inoxydables, austénitiques surtout, sont sensibles à ces corrosions, mais pas dans les conditions d'emploi pour un bateau ; il faut faire intervenir des notions de températures qui n'ont rien à voir avec ce qu'on rencontre en ce « *bas-monde* ».

● Les cupronickels n'ont pas du tout besoin d'être peints sous la flottaison, grâce au rôle antifouling du cuivre. Il y a ainsi eu des essais de revêtements de cuivre par dépôt sur des aciers inoxydables, peu concluants, à cause de la difficulté d'obtenir une parfaite régularité du dépôt.

● les aciers inoxydables n'ont pas besoin d'être peints au-dessus de la ligne de flottaison à condition d'être polis ou satinés pour faire disparaître les rayures.

On peut finalement se demander si on exploite bien le rôle auto-passivant de certains alliages, soit qu'on ne se donne pas la peine de les surfacer correctement, soit que pour des raisons esthétiques ou à cause du développement des salissures et des végétaux sur les carènes, on soit contraint à les peindre.

Ceci dit, il ne faut pas être pessimiste ! Connaître l'existence des phénomènes corrosifs ne signifie pas que ces corrosions soient inévitables. Au contraire, la prise de conscience est le premier pas vers leur bon règlement ! Eviter les causes de corrosion est la seule vraie sagesse ! Lutter contre une corrosion sans éliminer ses causes est une perte de temps et d'argent *(Photos C 35 à C 40, croquis C 61 à C 69).*

11

PEINTURE ET TRAITEMENTS ANTI-CORROSION GALVANISATION METALLISATION

Dans l'ensemble, la corrosion de l'acier en construction navale est électrochimique. **On va donc y pallier en interrompant l'effet de pile, en agissant directement sur l'échange électrique. Pour cela, deux types d'actions :**

● annuler l'effet de pile entre différentes zones du bateau de polarités opposées par suite à des potentiels de dissolution différents.

● protéger l'ensemble de l'ouvrage ainsi traité contre des masses électropositives étrangères et compléter l'effet précédent.

Pour éviter les autres formes de corrosions par salissures et par attaques des composants corrosifs de l'air, il conviendra de peindre la surface de l'acier par des peintures répondant à chaque usage envisagé.

Bien entendu, cette étude va se limiter au problème bateau, à l'immersion et semi-immersion en eau de mer et à l'action des brouillards salins.

GENERALITES

Revêtements appliqués sur l'acier, l'isolant, sans modifier sa surface.

Revêtements organo-métalliques

● Peintures contenant des paillettes ou une poudre métallique : zinc, acier inoxydable, aluminium.

● Peinture au zinc éthyl-silicate.

On trouve ainsi des tôles et profilés grenaillés et pré-peints.

Revêtements métalliques

● **Electrodéposition de zinc** : tôles électrozinguées.

● **Immersion dans du zinc fondu** : tôles galvanisées et galvanisation de chaîne, visserie, tubes, etc.

● Projection au pistolet de zinc fondu : shoopage (ou choupage).

Revêtements modifiant la surface de l'acier :

Modification chimique

— Phosphatation légère ou en profondeur précédant un revêtement peint.

— Phosphatation puis chromatation.

GALVANISATION A CHAUD

On revêt des objets en acier d'une protection de zinc par différentes méthodes. La galvanisation consiste à plonger la pièce dans un bain de zinc en fusion. L'épaisseur de la couche protectrice varie de 50 à 140 microns, soit une masse de zinc de 350 à 1.000 grammes par mètre carré.

L'épaisseur de la galvanisation dépend de la durée d'immersion et de la température du bain.

On peut galvaniser des pièces de formes complexes et creuses, tubes, etc...

Les produits sidérurgiques galvanisés en continu sont seulement des produits plats : tôles et bandes. Les tôles sont recouvertes d'une épaisseur de 7 à 42 microns.

Elles peuvent être formées et même embouties sans détériorer la couche de zinc. Lorsqu'une tôle ou des parties d'une pièce sont recoupées ou soudées, le film de zinc est détruit localement. On en rétablit efficacement la continuité en peignant cette zone avec une peinture riche en zinc.

Nous verrons plus loin comment peindre sur une galvanisation.

METALLISATION AU PISTOLET

Ce sont en principe des entreprises spécialisées qui effectuent ce travail. Mais l'amateur peut y parvenir. La surface d'acier est sablée. Puis du zinc fondu y est projeté avec un pistolet métalliseur qui fonctionne comme un « *pistolet* » de soudage MIG, avec un fil de zinc.

L'épaisseur du film de zinc pur varie de 50 à 150 microns. On peut donc assurer en une seule opération toute l'épaisseur de la protection au zinc. Cette épaisseur de zinc est poreuse et en général l'accrochage mécanique des peintures est bon. Cette technique fréquente dans les années 1970 en Europe du Nord, *Hollande*, appelée « Choupage », est maintenant en perte d'application du fait de la qualité et de la commodité d'emploi des nouvelles peintures riches en zinc, et de la qualité des pré-peintures des tôles pré-peintes ou électrozinguées.

ELECTRO-ZINGAGE

On peut revêtir d'une couche de zinc électrolyse des pièces de petite taille (visserie) comme les tôles. Cette opération est faite en usine.

La couche de zinc varie de 2,5 à 10 microns. Pour les tôles utilisées en construction navale, elle est de 10 à 15 microns. Le dépôt de zinc est suivi d'une passivation. Ainsi, ces tôles peuvent-elles être mises en œuvre (coupées, formées, soudées...) sans précaution particulière. Elles peuvent être stockées sans rouiller. Les coques ainsi fabriquées peuvent ensuite être peintes sans autre préparation de surface que le dégraissage et le dépoussiérage car le zinc est passivé. Une coque ainsi faite doit être repeinte dans un délai de quelques semaines si elle est laissée en extérieur. Le plus vite possible sera le mieux. Une couche de peinture riche en zinc suffira. On pourra ensuite continuer les travaux sur le bateau, soudage et meulage compris. On repeint au fur et à mesure les zones travaillées.

GRENAILLAGE ET PRE-PEINTURE

On traite ainsi des profilés et tôles, dans des usines sidérurgiques proches des laminoirs. Ils sont nettoyés, dépoussiérés et dégraissés, puis grenaillés jusqu'à élimination complète des traces de rouille et calamine. Aussitôt est appliquée une couche de peinture antirouille de divers types, dont au zinc.

La protection est temporaire et, selon l'épaisseur de zinc, permet d'attendre de quelques jours à quelques mois la couche suivant que le bateau est stocké en extérieur ou en intérieur.

GENERALITES SUR LES PEINTURES ANTIROUILLE

On nomme ainsi les peintures de « *protection* », appellation que je préfère à « *antirouille* » qui n'évoque qu'une partie du problème et fait trop penser à la quincaillerie et au minium ! Il est capital de préciser tout de suite que, quelle que soit la peinture choisie, si les précautions d'application, la préparation du support, le dépoussiérage, le décapage, la passivation, sont mal prises, le résultat sera décevant ! Il faudra pour être à peu près sûr du résultat, tenir le plus grand compte des conseils d'application du fournisseur de la peinture.

LES LIANTS

La peinture comporte un certain nombre d'éléments en suspension dans un liant. On appelle « Feuil sec » ce qui reste après séchage du liant :

- par évaporation des solvants et diluants
- par oxydation à l'air
- par polymérisation, réaction chimique

Les diluants usuels sont :

- des huiles grasses siccatives ou siccativées
- des mélanges d'huiles grasses et de résines de synthèse
- **des résines de synthèse :** vinyliques, époxydiques (dites « *époxy* ») polyuréthanes, acryliques, silicones, phénoliques...
- des caoutchoucs chlorés ou isomérisés
- des produits bitumineux.

Voyez au tableau suivant les caractéristiques et emplois de ces liants.

LES PIGMENTS

Ce sont les parties solides qui constituent les peintures avec les parties liquides, les liants. Leur activité chimique ou leur morphologie est inhibitrice de la rouille. Certaines particules n'ont pas un rôle inhibiteur.

Les particules à rôle inhibiteur sont en général à base de plomb, zinc et métaux alcalinoterreux.

En construction navale, on rencontre surtout les pigments suivants :

- chromate et tétraoxychromate de zinc
- phosphate de zinc
- poussière de zinc
- En présence d'un électrolyte (eau de mer), sauf les poussières de zinc, ces pigments forment des dépôts insolubles et isolants d'hydroxyde ou sels de zinc. La poussière de zinc agit directement par effet anodique en se dissolvant au profit de l'acier. Ce qui implique un contact direct entre acier et zinc. L'acier doit être décapé à blanc, état SA3. La peinture doit être saturée à 92 à 95 % de zinc dans le feuil sec.

Liants	Caractéristiques	Utilisations (exemples)
Huiles grasses	Huile de lin crue, cuite ou standolisée. Dissoute dans l'essence de térébenthine ou dans le white-spirit. Application facile à la brosse.	Couches primaires au minium de plomb. Bonne résistance aux intempéries. Ne pas utiliser en milieu alcalin. Préparation de surface minimale (brossage de la rouille).
Mélanges d'huiles et résines artificielles	Résines alkydes (oléoglycérophtaliques, etc.) ou époxydiques.	Couches primaires au minium de plomb. Bonne résistance aux intempéries. Ne pas utiliser en milieu alcalin. Préparation de surface minimale (brossage de la rouille).
Résines vinyliques	à base de chlorure de vinyle et d'acétate de vinyle.	Bonne résistance aux intempéries, à l'eau, aux acides et bases dilués, aux détergents, aux produits pétroliers.
Résines époxydiques	Mélangées à d'autres résines synthétiques ou à un agent durcisseur, elles durcissent à froid ou à chaud.	Très bonne résistance à l'eau et à la plupart des agents chimiques usuels. Préparations de surface soignées (sablage) pour couches primaires.
Résines de silicones	Généralement associées à une résine alkyde ou à une autre résine organique.	Très bonne résistance à la chaleur et aux intempéries. Bonne imperméabilité à l'eau. Bonne isolation électrique.
Polyuréthanes	Généralement à deux constituants, durcissent à froid.	Bonne résistance à l'abrasion et à la plupart des milieux agressifs.
Caoutchouc chloré Caoutchouc isomérisé	Dérivés du caoutchouc naturel et plastifiés aux huiles siccatives ou aux résines glycérophtaliques.	Bonne résistance à l'eau, aux acides, sels et milieux alcalins dilués. Bonne isolation électrique. Bonne résistance à l'abrasion. Préparations de surface soignées pour couches primaires (sablage).
Produits bitumineux	à base de brai de houille ou de brai de pétrole. Solubles dans les huiles et les hydrocarbures. Insolubles dans l'eau et les alcools.	Bonne résistance à l'eau douce, aux atmosphères humides, aux sols humides. Préparations de surface minimale (brossage de la rouille).

SOLVANTS

Ce sont des produits liquides, volatils, qui fluidifient le liant pour faciliter l'application en couche fine de la peinture. Ils s'évaporent après l'application. Ce sont aussi des adjuvants plastiques qui améliorent la souplesse du feuil sec. Les solvants sont en général toxiques et très inflammables, sauf dans les peintures à l'eau.

SYSTEMES DE PEINTURES

Il existe des incompatibilités entre certains solvants, liants et pigments. Aussi les fournisseurs ont-ils mis au point des familles de peintures complémentaires allant de la première qu'on applique sur l'acier nu à la dernière couche de finition. Ce sont les « systèmes ».

On trouve les couches primaires, les couches intermédiaires puis les couches de finition. Pour un bateau, le feuil sec final doit être de 160 à 200 microns. On compte 40 à 50 microns par couche. Soit donc un ensemble de 4 à 5 couches au minimum.

Couches primaires

Leur rôle est d'inhiber la rouille et de parfaitement adhérer à la surface de l'acier. En général, elles impliquent un parfait décapage de l'acier. Rares sont les couches primaires qui admettent un dérouillage sommaire. En construction de plaisance, on n'y en a général pas recours. L'adhérence à l'acier est renforcée par des traitements de conversion tels que l'utilisation de peintures réactives ou wash-primers, surtout pour les tôles galvanisées.

Couches intermédiaires

Leur fonction est d'être intermédiaires entre les couches primaires et les couches de finition. Elles sont imperméables au milieu extérieur et sont chimiquement inertes. Les pigments de ces couches ont une forme adaptée qui renforce l'imperméabilité et, en remontant à la surface du feuil, se recouvrent mutuellement. **Ces pigments sont en général :**

- le graphite
- l'oxyde de fer minacé
- la poudre de zinc
- la poussière d'aluminium.

Couches de finition

Elles doivent être étanches, résister aux ragages, aux chocs, et aux agressions chimiques du milieu. Elles contiennent des pigments qui en renforcent l'imperméabilité à l'eau, aux produits chimiques, UV etc.

Elles ont aussi un rôle décoratif évident !

Pour cela, elles possèdent des pigments colorants.

MISE EN ŒUVRE DES METHODES DE PROTECTION

PREPARATION DE SURFACE AVANT PEINTURE

La préparation de la surface à peindre et l'application des peintures a, au moins, autant d'importance que le choix des peintures elles-mêmes. Il convient tout d'abord d'éliminer la calamine qui se présente sous forme d'une pellicule bleutée d'apparence propre et qui semble devoir bien coller au métal. Il n'en est rien. Cette pellicule se polit sous le brossage, sans s'en aller.

La meilleure solution pour décalaminer un bateau réalisé en tôles non traitées est de le laisser sous les intempéries. L'alternance des pluies et périodes sèches étant le moyen le plus radical et le plus économique pour assurer en quelques mois la formation de rouille qui va décoller la calamine.

Je rappelle que la calamine est une oxydation provoquée à chaud par les traitements appliqués aux produits en cours de transformation. La rouille, elle, est une oxydation provoquée à la température ambiante par l'humidité de l'air. Ce qui veut dire aussi que la coque pontée en tôles non traitées se décalaminera plus vite dehors que dans un local, et plus vite dans des régions humides que dans des régions sèches.

Sans attendre que la rouille décolle la calamine, on peut utiliser divers procédés de décapage :

- piquage au marteau
- grattage
- brossage
- sablage
- décapage à chaud par brûlage
- décapage chimique
- inhibition ou transformation chimique de la rouille.

Martelage-piquage

Le martelage permet d'éliminer les oxydes superficiels, calamine peu adhérente, rouille épaisse, laitier des cordons de soudure, gouttes de soudure collées. Mais il ne permet que de dégrossir le travail. Il doit être suivi d'un autre procédé de préparation, plus fin. On utilise le marteau à piquer ou un marteau à table arrondie (rouille et calamine).

Grattage

Avec un grattoir ou un marteau on peut gratter la rouille épaisse ou la calamine peu adhérente. A faire suivre également d'un traitement plus fin.

Brossage

On utilise une brosse métallique manuelle ou rotative (sur un bloc perceuse, ponceuse rotative) à vitesse lente. Cette méthode n'enlève pas la calamine, qu'au contraire elle polit. Elle enlève la rouille mince. A faire suivre d'un époussetage et dépoussiérage.

Meulage

On peut utiliser des disques à décaper qu'il ne faut pas confondre avec les disques à tronçonner qui polissent le métal et rendent l'adhérence de la peinture très incertaine. Dans le passé, certains y ont vu une raison de ne pas travailler en tôles pré-peintes. Ils disaient que si la pré-peinture avait pour but d'éviter le sablage, il fallait décaper les zones de soudage ou les envers de pointages et chenillages avec des brosses ou des disques. Et d'ajouter que ce meulage empêchait la peinture d'adhérer car le métal était lissé ! La belle erreur ! Utilisez des disques adéquats, c'est tout !

Sablage

Le sablage peut se faire à sec ou sous jet d'eau rendue passive. Attention, par exemple, l'eau distillée est tout ce qu'il y a de plus actif. L'eau de pluie, l'eau de condensation attaque tout, y compris l'inox et les plastiques. On choisira le diamètre de la base et le diamètre du sable selon la finesse du travail et les surfaces à sabler. Dans mes plans, j'indique deux données :

- Buse diamètre 12 et sable pour métal Rugos 12/14. Il faut alors 15 kg par mètre carré. Mais on m'a aussi parlé de 4 tonnes pour sabler l'intérieur et l'extérieur d'un Albion de 10,45 m...
- Buse diamètre 8 et sable 0,4 à 1 mm. Le sablage se fait avec un sable à grains abrasifs à teneur en silice inférieure à 5 %, ou avec des grains de corindon. L'utilisation de sels siliceux (plus de 5 % de silice) en sablage à sec est interdite en local clos. Le grain laissé par la projection de sable est encore plus gros et plus favorable à l'accrochage des peintures que ne l'est le grain des peintures riches en zinc. A l'intérieur, comme à l'extérieur, on pousse le sablage jusqu'au stade dit SA3.

Grenaillage

En général, seuls les professionnels utilisent le grenaillage. Notamment les produits pré-peints sont grenaillés au préalable. Le grenaillage permet de bien décaper la surface au stade SA3, métal totalement décapé de tout grain de rouille, tout à fait blanc. Ceci à l'intérieur comme à l'extérieur.

La grenaille est en général récupérée et recyclée après nettoyage.

La peinture doit suivre le sablage ou le grenaillage dans les plus brefs instants.

Voici un tableau de surfaces à sabler, traiter ou peindre, tel que je le donne dans mes plans. Il convient pour des quillards et dériveurs de formes classiques, pour la croisière hauturière sur une conception, disons des années 70-80 :

Le grenaillage ainsi que la projection de grains de corindon sont des procédés de bonne qualité qui permettent d'atteindre un stade SA3 parfait et assez vite. Le sablage leur est préféré pour des raisons de coût par les petites entreprises et les amateurs.

Brûlage

Le brûlage se fait avec des chalumeaux oxyacétyléniques pour ôter des traces grasses sur des surfaces planes en acier de plus de 4 mm d'épaisseur. Ces chalumeaux possèdent plusieurs becs de fort débit. Procédé peu utilisé en construction navale.

Décapage chimique

Des décapages se font avec des acides forts, tels que l'acide sulfurique dilué, à chaud. Ils sont suivis de rinçage abondants, à l'eau. Ils s'opèrent en ateliers spécialement équipés. On les fait suivre d'une phosphatation passivante. Procédés peu utilisés lorsqu'on souhaite peindre ensuite le métal. Avant la galvanisation, on décape les pièces avec de l'acide chlorhydrique, dilué, à froid. Suivi d'un rinçage abondant. Il existe aussi des pâtes à décaper, oxydantes. Ces acides enlèvent les traces de rouille, calamine, débris divers (limaille), traces grasses.

Pour enlever des traces grasses, reste de peinture, des corps gras ou minéraux, on

Longueur du bateau	Surface extérieure sans pont	Surface pont, roof, cockpit	Total intérieur pont inclus, tôles et structure	Antifouling extérieur
8 à 9 m	37 à 42	25 à 28	90 à 105	17 à 22
9 à 10 m	42 à 49	28 à 32	105 à 115	22 à 27
10 à 11 m	49 à 56	32 à 36	115 à 130	27 à 30
11 à 12 m	56 à 62	36 à 40	130 à 145	30 à 36
12 à 14 m	62 à 78	40 à 50	145 à 170	36 à 46
Surfaces à titre indicatif, en mètres carrés				

utilise des détergents neutres à froid ou à chaud ; des lessives alcalines à froid ou à chaud ; des vapeurs de solvants. Les détergents sont agités par ultra-sons. Procédés utilisés pour des tôles avant traitement, et pour le traitement de petites pièces.

Transformation chimique

Après décapage d'une grosse part de leur épaisseur, les oxydes superficiels, rouille ou calamine, peuvent être l'objet d'une phosphatation suivie d'un abondant rinçage. Les taches grasses sont, elles, traitées par une phosphatation à chaud en bain ou au jet, suivie du même rinçage abondant. Procédé industriel pas encore adapté à la construction navale. La phosphatation crée une couche de phosphates insolubles à l'eau et qui favorisent l'accrochage des peintures.

La rouille superficielle peut être éliminée par des pâtes décapantes acides dont l'application doit être suivie de rinçages.

On applique sur les tôles les peintures primaires à propriétés réactives, dites « wash-primers ». Elles contiennent de l'acide phosphorique en faible quantité. Elles favorisent l'accrochage des couches de peintures suivantes. De telles peintures sont utilisées en début de système sur des tôles galvanisées ou métallisées.

Il existe aussi des peintures transformatrices de la rouille qui se passent sur les tôles brossées, mais sur lesquelles subsiste une faible couche de rouille. Ces peintures sont appelées « inhibiteurs de rouille ». Elles s'allient à la rouille dont elles stoppent le développement. Toutefois, ces peintures ne peuvent être utilisées avec un résultat garanti.

Ceux qui voudraient les utiliser devraient procéder à des essais et consulter les fabricants. Bien qu'un tel procédé soit parfois couronné d'un bon résultat, je ne saurais le conseiller à tous. Il peut être utilisé en ultime recours pour une petite zone difficile ou impossible à bien sabler, brosser ou gratter. Un brossage manuel aussi soigné que possible précèdera alors l'application d'une telle peinture. C'est peut-être le cas du bas d'une étrave, du bas de la quille, de l'aileron de gouvernail. De même, les peintures dites « *bitumes* » dont certaines peuvent s'appliquer sur la tôle brossée mais non exempte de rouille. Une partie de leur action consiste à priver la rouille de l'oxygène qui oxyde le fer et lui permet de se développer. Je ne saurais, pas plus que les « *inhibiteurs de rouille* » les conseiller à tous et à chacun. Seuls les essaieront ceux que ce compromis intéresse.

Si vous avez le bateau dans le cœur et la croisière dans la tête abonnez-vous au mensuel Loisirs nautiques.

MODE D'APPLICATION DES PEINTURES

Selon la nature des liants, le lieu d'application, l'équipement acquis, la mise en peinture se fait de plusieurs façons. De toute façon, on évitera de peindre :

- par temps humide : pas de peinture par plus de 80 % d'humidité relative.
- au soleil direct
- par des températures de moins de 5 à 10°.

Les forts courants d'air ne sont pas conseillés. On notera aussi selon la saison qu'il faut prendre certaines précautions. L'hiver, si la température remonte le matin assez vite à plus de 5 à 10°, le métal du bateau peut, lui, rester très froid. C'est la température du métal qui devra être tenue en compte !

L'été, le bateau peut se recouvrir d'une forte condensation extérieure. J'en ai fait l'expérience un été en peignant mon bateau. En plein mois d'août en Bretagne, le bateau était mouillé jusqu'à 11 h le matin et était trop chaud dès 16 à 17 h. Difficile de peindre dans de telles conditions !

Evitez les coups de vent qui soulèvent la poussière, donc ne vous mettez pas près d'un tas de sable ou d'un chemin poussiéreux. Evitez aussi de mettre votre bateau près d'une haie d'arbustes à fleurs, car l'été les insectes viendront se coller sur votre peinture, surtout si elle est claire ou vive.

MODES D'APPLICATION

Brosse, pinceau

Pour des petites surfaces, des zones d'accès difficile et pour appliquer des primers et des peintures à séchage lent.

Rouleau

Convient bien pour des vastes surfaces planes ou peu bombées telles qu'elles se présentent le plus souvent sur les coques et ponts de bateaux. Le rouleau est moins favorable que la brosse à un excellent accrochage des peintures, aussi faut-il éviter de l'utiliser pour l'application des primers.

Pistolet

A air ou sans air (dit Airless), il permet de réaliser des couches régulières, et fines si on le veut. En réglant la buse et le débit, il convient à tous les types de peintures courantes. Les pistolets à air (pneumatiques) utilisent de l'air comprimé sous une pression de 1 à 5 kgF/cm². Il existe des pistolets mélangeurs pour projeter simultanément les deux composants de certaines peintures.

Une pompe hydraulique projette la peinture des pistolets Airless sous une pression de 50 à 200 kgF/cm². Ce type de pistolet est donc très rapide et permet d'appliquer des couches épaisses contenant peu de solvant.

Pulvérisation électrostatique

Des ateliers spécialisés peuvent projeter de la peinture dans un champ magnétique créé entre la pièce à peindre (pôle positif) et la buse. Les gouttes de peinture se chargent négativement. Procédé spécialisé et gâchant peu de peinture.

PRODUITS SIDERURGIQUES PRE-PEINTS AU ZINC

Avant d'être laminées, les formes primitives de présentation de l'acier (barres brutes) sont réchauffées à forte température. Elles se couvrent alors d'une oxydation bleutée, dure, la calamine. La calamine est composée de différentes particules, électropositives par rapport à l'acier. Elles forment cathode. Elle ne protège donc pas l'acier mais le corrode par voie électrochimique.

Les deux seuls procédés d'élimination efficace de la calamine sont le grenaillage et le sablage. De par la présence de silice, l'emploi du sablage en atelier (donc au stade industriel) est très réglementé. C'est pourquoi, à ce stade industriel on préfère le grenaillage alors que l'amateur ou l'artisan préfèrera le sablage, surtout s'il opère en plein air ou dans un local très aéré.

Le grenaillage élimine les particules oxydantes, donc effectue le « *nettoyage* » de l'acier, mais aussi crée une microgéométrie de surface (un « *grain* ») favorable à l'accrochage mécanique de peintures. Ce nettoyage et ce grain dépendent de la forme des grains de grenaille (ou de sable), de la dureté de ces grains, de leur dimension et de la forme de projection.

Les états de surface en rugosité et propreté sont appréciés par des examens « visco-tactiles » avec comme références les plaquettes N17 (grossier) ou N18 (fin) du rugo-test n° 3 qui correspond aux normes N9 et N10, NF. E. 05. 051.

De la qualité de cette préparation dépend l'accrochage des peintures, depuis les primers jusqu'aux couches de finition.

Ces opérations sont réalisées automatiquement au stade industriel.

Procédure

- Préchauffage à la flamme de brûleurs à gaz à l'intérieur d'un four. La température atteinte est de 40 à 60° C. Assèche la surface ; détache déjà la calamine ; permet ensuite le séchage plus rapide du revêtement.
- Grenaillage avec grenailleuse à turbine qui projette la grenaille à une vitesse de 75 m/s. La grenaille est en général de

type sphérique. Elle est récupérée, dépoussiérée et recyclée.

● Peinture. Elle est faite dès la sortie de la grenailleuse après contrôle visuel de la surface. Le primer est appliqué par des pistolets automatiques mus par des robots. La surface du métal étant sèche et encore chaude, le feuil adhère d'une façon parfaite.

● Séchage. Les tôles circulent fréquemment sur coussin d'air pour éviter toute détérioration du feuil encore humide. Elles passent dans des cabines d'évaporation des solvants qui sont acheminées vers des aires de stockage.

● **Contrôles. Sont contrôlés :**

● la température de préchauffage.
● le degré de grenaillage.
● la rugosité, le grain.
● l'épaisseur du feuil de peinture.
● l'état de surface tout au long du travail.

Traitement

Le degré de grenaillage varie de la norme 21/2 à la norme 3.

Norme suédoise SA3 ou 2 1/2.

Norme française Ds3 ou 2 1/2.

Pour les bateaux, les tôles sont en principe au minimum du degré 2 1/2.

Les peintures primaires appliquées sont à plus de 90 % de poudre de zinc dans le feuil sec, à liant époxydique (dit époxy dans le langage courant) à deux composants. L'épaisseur est de 15 microns ± 2. Couleur grise. Il existe aussi des peintures primaires pigmentées à l'oxyde de fer, couleur brune, de très bonne tenue, pour les bateaux à liant époxydique. Epaisseur 20 microns ± 2. On trouve également des

● peintures saturées au zinc ; à liant inorganique (éthylsilicate). Epaisseur 20 microns

● peintures à l'oxyde de fer ; liant butyral polyvinylique. C'est un primaire réactif parfait en construction navale. Epaisseur 20 microns. La durée de ces revêtements est en général donnée pour six mois. Mais il faut considérer que c'est une durée valable pour un produit non transformé (tôle non découpée par exemple) et stocké sous l'abri. Un bateau livré en tôles pré-peintes et dont les zones soudées ou meulées ont été retouchées à la peinture au zinc appliquée à froid au pinceau (très bon procédé) devra être peint d'une peinture compatible avec la première, dans les deux mois suivant sa mise en parc en plein air.

De telles tôles pré-peintes se travaillent de façon classique, le revêtement au zinc ne gênant ni le découpage, ni le perçage, ni le soudage. La très faible épaisseur de zinc ne suffit pas à polluer l'air lors du soudage, même en atelier, pour des cadences de travail raisonnables.

DIVERS AUTRES REVÊTEMENTS DE ZINC

Un chapitre précédent vous a développé les autres méthodes de revêtement de zinc des produits sidérurgiques courants en construction navale : tôles et profilés de structure. Rappelons :

● la galvanisation à chaud par trempe dans un bain de zinc pur en fusion

● le zingage par projection au pistolet de zinc pur en fusion, appelé choupage

● le zingage par dépôt électrolytique, appelé électro-zingage.

Et bien sûr, la peinture automatique ou sur place, à l'aide d'un primer saturé en zinc, à froid.

Il faut savoir que peindre un acier revêtu de zinc appelle un traitement précis, faute duquel l'ensemble du système peint se décollera, la première couche (primer) n'adhérant pas sur le zinc.

PEINDRE SUR LE ZINC

L'état de surface physique et chimique du revêtement de zinc a une importance capitale. L'acier, sablé ou grenaillé présente un grain d'accrochage (micro-géométrie) favorable. Grenailler vaut alors mieux que sabler. Le meulage, s'il est fait avec un disque à tronçonner, dur, lisse la tôle et nuit à l'accrochage. On utilisera des disques à meuler, tendres, ou des brosses rotatives.

Le zinc déposé par galvanisation est très lisse. Il convient de regriffer une tôle galvanisée avant de la peindre. On y arrive par un sablage léger analogue au sablage léger qu'on peut appliquer sur l'aluminium pour faciliter l'accrochage mécanique des peintures sans intervention d'un traitement chimique.

En général, une peinture au zinc présente un grain très favorable à l'accrochage mécanique du reste des couches de peintures. Par contre, chimiquement parlant les revêtements au zinc doivent être l'objet d'un traitement avant peinture, dit « passivation ». Une surface galvanisée neuve doit être phosphatée ou revêtue d'un primer réactif (wash primer). Ces primers réactifs sont fréquemment composés de Butyral-polyvinylique, de Tetraoxychromate de zinc, d'acide phosphorique. D'autres produits de synthèse les renforcent parfois.

Ces produits ne font que préparer l'accrochage du reste du système peint en passivant le zinc, c'est-à-dire en stoppant sa réaction chimique d'oxydation.

Une surface galvanisée laissée quelque temps à l'air, sous intempéries se recouvre de sels et d'oxydes complexes. Un brossage les élimine, qu'on fait suivre d'un dépoussiérage. Ensuite, il convient en général d'appliquer un wash-primer réactif ou une impression phosphatante, au choix.

Les revêtements de zinc projeté, métallisations, présentent un long grain de surface et une bonne porosité. Mais au bout de quelques semaines, ce zinc exposé aux intempéries se couvre d'hydroxyde de zinc qui bouche les pores. On le dépoussièrera avec une brosse douce, avec beaucoup de soins. En général, ce dépoussiérage suffit. Si la métallisation est récente, il faut passer un wash-primer réactif.

Quant aux peintures saturées en zinc, elles font en général partie d'un système conçu par le fournisseur et qu'il vaudra mieux respecter. Un système de peinture est une gamme de produits se complétant, depuis la couche appliquée sur le métal jusqu'à la dernière couche de protection. Elles apportent l'adhérence, la protection anodique de l'acier par le zinc, la passivation de ce zinc, la finition, l'étanchéité de la couche.

COMPOSITION ET EPAISSEUR D'UN SYSTEME DE PROTECTION

Selon l'exposition aux intempéries, un objet en acier recevra une protection plus ou moins importante.

Pour ce qui nous concerne, les bateaux en acier, pour rester sains et agréables à regarder, doivent faire l'objet d'un traitement sérieux. Les bateaux en acier, voiliers ou vedettes à moteur, étaient jusqu'à ces dernières années le symbole de la longévité et du luxe. Le fait que se sont répandues les petites productions artisanales et individuelles, a amené des erreurs regrettables dues au manque d'information de quelques-uns. L'acier reste LE matériau symbole de SOLIDITÉ. Il a tous les atouts modernes pour redevenir vite un exemple de matériau élégant et ne posant pas de problèmes d'entretien, car les produits de revêtement sont très au point. Reste à chacun à apprendre à bien respecter leurs modes d'application.

On ne peut guère parler de nombre de couches de peinture pour désigner l'épaisseur d'un système.

On reconnaît qu'une couche de peinture appliquée au pinceau ou au rouleau atteint en moyenne 40 à 50 microns d'épaisseur. Par contre, l'épaisseur déposée au pistolet ou par galvanisation dépend du « *réglage* » du procédé, du dosage.

Il faudra se référer aux directives de chaque fournisseur, selon la peinture choisie, pour être certain d'avoir revêtu son bateau d'une épaisseur correcte. Mais on convient de situer entre 120 et 160 microns l'épaisseur de la protection au zinc ; et entre 80 et 200 microns l'épaisseur de la finition selon les zones. Voici, ci-après, les tableaux que j'ai déterminés par expérience pour les différentes zones d'un bateau. Je vous le fournis à titre indicatif. Dans le manuel de construction individuelle de ce Hors-Série, je détaille les précautions à prendre, zone par zone.

A : Pont ; B : Muraille ; C : Carène ; D : Intérieur coque et pont ; E : Fonds à l'intérieur.

Coque brute sablée SA3		
		Système classique
A	2 primer	80 microns
	1 à 2 sous-couches	40 à 80 microns
	2 à 4 laques	80 à 160
B	2 primer	80
	1 à 2 sous-couches	40
	2 laques	80
C	4 primer	160
	1 impression	
	2 antifouling	40 à 50
D	2 primer	80
	1 sous-couche	40
	2 laques	80
E	2 primer	80
	1 sous-couche	40
	3 laques	120
		Système époxy
A	2 protections époxy	200 microns
	2 à 4 laques polyuréthane	80 à 160
B	2 protections	80
	2 laques	80
C	2 protections	80
	2 antifouling	80
D	2 impressions	80
	2 sous-couches	80
	2 laques	80
E	3 protections	120
	1 laque	40

Coque pré-peinte Système classique « pré-peinture » non comprise		
A	1 wash-primer 2 primer 1 sous-couche 2 à 4 laques	15 microns
B	1 wash primer 2 primer 1 sous-couche 2 laques	15
C	1 wash primer 3 impressions 2 antifouling	15
D	1 wash primer 1 primer 1 sous-couche 2 laques	15
E	1 wash primer 1 primer 1 sous-couche 3 laques	15
	Système haute performance	
A	1 wash primer 2 impressions 2 à 4 laques	30 microns
B	1 wash primer 2 impressions 2 laques	30
C	1 wash primer 1 impression 2 antifouling	30
D	1 wash primer 2 impressions 2 laques	30
E	1 wash primer 2 impressions 3 laques	30

On peut déjà noter que le pont et les fonds de l'intérieur reçoivent des systèmes renforcés. En effet, c'est sur le pont que l'usure se fait le plus vite, mais c'est à l'intérieur et surtout dans les fonds qu'on trouve les risques de stagnation de l'eau polluée.

L'intérieur d'un bateau en acier doit se traiter avec au moins autant de soins que l'extérieur, sinon plus !

Dans cet ouvrage sur la construction artisanale et individuelle, vous trouverez d'autres exemples de systèmes de peintures zone par zone pour des marques ne posant pas de problème de fiabilité.

EXEMPLE DE CHOIX DE PEINTURES

COUCHES PRIMAIRES :

- **pigment antirouille** : zinc
- **liant** : époxy ou caoutchouc isomérisé.

COUCHES INTERMEDIAIRES :

- **liant** : résines alkydes ou caoutchouc isomérisé.

COUCHES DE FINITION :

- **liant** : résines époxy, ou alkydes ou caoutchouc isomérisé.

Soit donc des peintures appelées :

- époxy (coque),
- polyuréthane (coque et pont, intérieur et extérieur),
- glycérophtalique (intérieur et coque),
- caoutchouc chloré (coque et pont, intérieur et extérieur),
- bitumineuses (intérieur coque, fonds, quille).

PRECAUTIONS A PRENDRE DÈS LA CONCEPTION

Le travail de l'architecte est de prévoir ce qui favorisera l'utilisateur en lui simplifiant les manœuvres, la vie à bord, l'entretien. **Il doit donc tenir compte de ce qui aide à maintenir en bonne santé, et le matériau et ses revêtements peints. Il faudra :**

- éviter les surfaces planes : elles vont se creuser,
- éviter les surfaces horizontales : l'eau y stagne,
- éviter les surfaces creuses : l'eau y stagne,
- éviter de multiplier les recoins difficiles d'accès à l'extérieur comme à l'intérieur,
- éviter les angles vifs saillants ou rentrants avec une soudure en angle, l'usure de la peinture y sera rapide,
- éviter les zones impossibles à peindre ou à repeindre. Ainsi, pas de coffres clos sans large accès ou sans écoulement. Pas de baille à mouillage dans l'étrave.
- éviter le contact avec le bois de chêne et de châtaignier (tanins agressifs).

J'y reviens dans le chapitre sur la conception du bateau en acier.

Métagrip : zinc silicate inorganique connu aussi sous le nom « doxanode »

Il existe une grande variété de peintures et un grand nombre de marques et bien sûr il est impossible de citer tous les systèmes de chacune d'elles. Aussi, je vous ai donné quelques exemples sûrs de marques connues et fiables. Avant tout achat, il faut comparer certes les produits mais aussi les facilités de mise à disposition, les renseignements fournis sur l'installation, les conseils qui varient avec chaque marque et chaque peinture.

L'ANTIFOULING

Ministère de l'Environnement

Décret n° 82782 du 14 septembre 1982, relatif à l'utilisation des peintures marines anti-salissures.

— Art. I : Il est interdit de recouvrir les coques des navires et des embarcations dont la longueur est inférieure à 25 mètres hors-tout de peintures marines anti-salissures contenant des composés organostanniques.

— Art. II : Les dispositions de l'article premier ci-dessus ne sont pas applicables aux navires et embarcations dont la coque est construite en alliage léger.

Ce décret est net.

Pas de peintures à composés organostanniques (étain) pour l'antifouling des bateaux de moins de 25 mètres en acier (TBT, etc.).

Tolérance pour ces peintures sur les bateaux en « alliage léger ».

Voici ce qu'en pense le chantier naval Méta.

« Ce décret veut dire, clairement, que toutes les peintures à base d'étain sont désormais interdites sur les coques en acier.

Quelles alternatives reste-t-il aux propriétaires de bateaux en acier ?

Réponse :

- les peintures antifouling à base de cuivre, solution dangereuse car elle implique des risques d'électrolyse.
- les peintures anti-corrosion inorganiques au zinc silicaté phase acqueuse qui ont des propriétés antifouling modestes mais suffisantes.

Sachez bien qu'il n'existe pas d'autre solution !

QUELQUES EXEMPLES DE SYSTEMES DE PEINTURES

SYSTEME HEMPEL'S

Acier brut - Coque sablée SA3

A	2 primer F 444	blanc	2 x 40 microns	10 m²/l
	1 sous-couche	(glycéro)	40 microns	10 m²/l
	2 laques	(glycéro)	2 x 40 microns	
B	2 primer F 444	blanc	2 x 40 microns	10 m²/l
	1 sous-couche	(glycéro)	40 microns	10 m²/l
	2 laques	(glycéro)	2 x 40 microns	
C	4 primer 1000 clair 1994		4 x 40 microns	7 m²/l
	2 antifouling 7610 rouge		2 x 40 microns	9 m²/l
	ou Vip 7640 rouge ou jaune		2 x 50 microns	5,5 m²/l
D	2 primer F 444	blanc	2 x 40 microns	10 m²/l
	1 sous-couche	gl.	40 microns	10 m²/l
	2 laques	gly.	2 x 40 microns	10 m²/l
E	2 primer F 444	blanc	2 x 40 microns	10 m²/l

1 sous-couche glycéro
3 laques glycéro ou polyuréthane

Coque pré-peinte au zinc

A	1 hempalin wash	primer 1520	15 microns	7 m²/l
	2 primer F 444	blanc	2 x 40 microns	10 m²/l
B	1 sous-couche	glycéro	40 microns	
	2 laques	glycéro	2 x 40 microns	
C	1 wash primer	hempalin 1520	15 microns	7 m²/l
	3 platin primer	1000 clair 1994	3 x 40 microns	7 m²/l
	2 antifouling	7640	2 x 50 microns	5,5 m²/l
D	1 hempalin wash	primer 1520	15 microns	7 m²/l
	1 primer F 444	blanc	40 microns	10 m²/l
	1 sous-couche	gl.	40 microns	
	2 laques	gl.	2 x 40 Microns	10 m²/l
E	1 hempalin wash	primer 1520	15 microns	
	1 primer F 444	blanc	40 microns	
	1 sous-couche	glycéro		
	3 laques glycéro ou polyuréthane			

SYSTEMES « INTERNATIONAL »

Système classique sur coque brute sablée

A	2 impressions	20 53	3600 2 x 40 microns	9 m²/l
	2 sous-couches			
	2 finitions glycéro			
	ou polyuréthane			101
B	3 impressions			
	2 sous-couches			
	2 finitions glycéro			
	ou polyuréthane			101
C	4 métallic primocon			
	1 sous-couche blanche			
	2 antifouling TBT			
D	3 impressions	20 53/3600	3 x 40 microns	
	2 sous-couches			
	2 finitions glycéro			
	ou polyuréthane			101

Système haute performance

A	2 polyuréthane	707	2 x 45 microns	9 m²/l
	3 émail polyuréthane	708	30 microns	10 m²/l
B	2 impressions	707 polyuréthane	45 microns	9 m²/l
	3 polyuréthane	708	3 x 30 microns	10 m²/l
C	2 impressions	707	2 x 45 microns	9 m²/l
	1 impression	708	30 microns	10 m²/l
	2 hard racing extra song			
D	2 impressions	707	2 x 45 microns	9 m²/l
	3 polyuréthane	708	3 x 30 microns	10 m²/l

Système époxy

A	2 époxy resin composition		2 x 75 A 100 microns	
	grise ou blanche			3 A5 m²/l.
B	2 polyuréthane	708	2 x 30 microns	10 m²/l
C	2 époxy resin composition gris ou blanc			
	2 antifouling hard racing extra song ou TBT			
D	2 impressions			
	2 sous-couches			
	2 finitions polyuréthane	101		
E	3 métallic primocon		30 microns	10 m²/l

Système classique : pour coque pré-peinte au zinc

A	1 wash primer	7601/3600	30 microns	14 m²/l
	2 impressions	2053/3600	40 microns	9 m²/l
	1 sous-couche			
	1 antidérapant laque glycéro ou polyuréthane			
B	1 wash primer	7601/3600	30 microns	14 m²/l
	3 impressions	2053/3600	3 x 40 microns	
	2 sous-couches			
	1 finition			
	polyuréthane	101		10 m²/l
C	1 wash primer	7601/3600	30 microns	14 m²/l
	4 métallic primocon		4 x 30 microns	10 m²/l
	2 antifouling extra song H.R. blanc ou			
	1 sous-couche blanche + 2 TBT			
D	1 wash primer	7601/3600	30 microns	14 m²/l
	3 impressions p. acier			
	2 sous couches			
	1 finition			
	polyuréthane	101		10 m²/l

Système haute performance

A	1 wash primer	7601/3600	30 microns	14 m²/l
	2 polyuréthane	708	2 x 30 microns	antidérapant
B	1 wash primer	7601/3600	30 microns	
	2 impressions	707 polyuréthane	45 microns	
	2 polyuréthane	708		
C	1 wash primer	7601/3600	30 microns	
	1 polyuréthane	708		
	2 antifouling hard racing extra song			
D	1 wash primer	7601/3600		
	2 impressions	polyuréthane 707		
	2 polyuréthane	708		
E	1 wash primer	7601/3600		
	2 polyuréthane 707			
	3 polyuréthane 708			

UN SYSTEME MÉTA

A	3 protections métagrip	3 à 4 m²/kg	
	1 neutralisation		
	1 méthadère pont	1,33 m²/kg	liant acrylique
	3 finitions métalac	5 m²/kg	glycéro
B	3 protections métagrip		
	1 neutralisation		
	1 méthadère PI	12 à 18 m²/kg	vinyl
	3 métalac	5 m²/kg	glycéro
C	3 métagrip protection		
	1 neutralisation selon antifouling choisi		
	2 antifouling à choisir en liaison avec la société Méta		
D	3 protections orgazinc	5 à 6 m²/kg	glycéro
	1 méthadère PI	12 à 18 m²/kg	vinyl
	2 finitions métalac ou 2 métablack (attention réglementation 29.12.48)		
E	3 protections orgazinc	5 à 6 m²/kg	glycéro
	1 méthadère PI	12 à 18 m²/kg	vinyl
	2 métablac ou 3 métalac	black : 6 m²/kg	laque : selon coloris

Pourquoi le législateur ne laisse-t-il pas le choix d'une solution antifouling sérieuse au niveau électrolyse ?

Parce que le compromis efficacité plus anti-électrolyse plus anti-pollution n'existe pas.

Il a donc dû assimiler la protection des bateaux de plaisance acier à celle des gros navires de commerce qui, eux, sont protégés avec des peintures antifouling à base de cuivre.

Pourquoi les gros navires de commerce peuvent-ils être protégés avec des antifoulings à base de cuivre et pas nos bateaux de plaisance en acier ?

Parce que le rapport EFFICACITE-PRIX est favorable aux premiers. Mais il faut savoir qu'un gros navire de commerce est construit en tôles très épaisses ; que sa protection cathodique est surpuissante et spécifique ; que sa durée d'exploitation est relativement courte ; que son immobilisation pour carénage est extrêmement coûteuse ; que le fuel étant très cher, on est d'autant plus attentif à l'efficacité de l'antifouling, coûte que coûte, quitte à prendre des risques avec l'électrolyse ».

Le cas de nos bateaux de plaisance est différent, vous en êtes bien conscient. On ne peut pas prendre de tels risques sur le plan de l'électrolyse : le carénage n'est en général pas coûteux et l'immobilisation du bateau fort courte.

Il vaudra donc mieux se retourner vers les peintures antifouling inorganiques au zinc silicaté en phase acqueuse.

L'OPINION D'UN FABRICANT DE PEINTURES SUR LA PROTECTION D'UN BATEAU EN ACIER

International, surtout connu des plaisanciers pour ses peintures yachting, est surtout le premier fabricant mondial de peintures « Marine », environ 35 % de la flotte mondiale : cargos, pétroliers, etc. naviguent avec les produits du groupe (d'où une relative facilité d'approvisionnement dans tous les grands ports mondiaux).

Ces produits et cette expérience, il paraît intéressant d'en faire bénéficier les constructeurs amateurs qui possèdent en général des coques de grande taille, d'où la possibilité d'utiliser des produits de type « Marine » en gros conditionnement.

Les lignes qui vont suivre peuvent paraître un peu rébarbatives mais la protection de votre « Capital bateau » mérite bien un petit effort supplémentaire. Bon courage !

Rappel de quelques généralités

Nous conseillons fortement de s'en tenir à un système homogène et cohérent.

L'utilisation de produits a priori similaires mais de marques différentes dans un même système est une source de problèmes souvent dus à des résines plus ou moins modifiées et par conséquent incompatibles.

● **La préparation de surface** est un élément primordial pour la bonne tenue d'un film de peinture (dégraissage, dérochage, ponçage, sablage, etc).

● **Les conditions d'application** doivent être respectées impérativement. L'humidité, qu'elle soit ambiante ou, encore pire, sur le support, est à proscrire (éviter de peindre le soir par exemple).

L'application au soleil, par forte chaleur, ou vent assez fort amène aussi son lot d'inconvénients (risque de rétention de solvant par fermeture trop rapide du film de surface).

● **La température** du produit doit être comprise entre 12 et 25°C, celle du support et de l'atmosphère ambiante devrait être équivalente mais, au pire, peut varier entre 5 et 35°C, sauf pour les peintures de type époxy. Ne prenez pas le risque de peindre s'il y a une probabilité de gel !

En résumé, l'idéal serait un local bien aéré, température 18-20°C hygrométrie 75 % maxi.

● Le plaisancier parle traditionnellement en couche de peinture. Dans la réalité, seule *l'épaisseur* du système assure une réelle protection.

● **L'intervalle** entre couche est un élément important dans un système de protection.

Un intervalle de 24 h est bon dans la majorité des cas. Attention aux cas particuliers ! relisez bien la fiche technique des produits concernés.

En cas de dépassement de l'intervalle maximum, il est conseillé de procéder à une nouvelle préparation de surface avant de continuer le système (dégraissage, ponçage, brossage énergique — éviter les brosses métalliques — rinçage...).

● la qualité de la finition dépend en grande partie du nombre d'heures que vous passerez à poncer votre coque ou votre enduit ! Elle dépend bien sûr aussi du mode d'application, des conditions d'application, de l'habileté de l'applicateur...

● **l'antifouling** est une peinture antisalissures qui ne participe en aucun cas à la protection anti-corrosive de la carène. Par contre, une carène propre est un facteur de rendement, voire de sécurité.

● En règle générale, il vaut mieux se renseigner avant qu'après. Il est plus facile (et moins onéreux !) de prévenir une bêtise que de la rattraper à postériori.

Analyse des systèmes « International »

Système caoutchouc chloré

● **Avantages :**

● produits moins sensibles aux conditions d'application,

● produits bon marché,

● réfection relativement aisée sans préparation spéciale,

● très bonne conservation.

● **Inconvénients :**

● produit moins résistant à l'abrasion,

● finition moyenne, surtout en application manuelle,

● risque de « *détrempage* » de la couche précédente lors d'une application autre que l'airless,

● résistance moyenne aux U.V.,

● l'action du soleil par forte chaleur peut amener un ramollissement du système, en particulier sur le pont,

● médiocre résistance aux hydrocarbures.

Système époxy

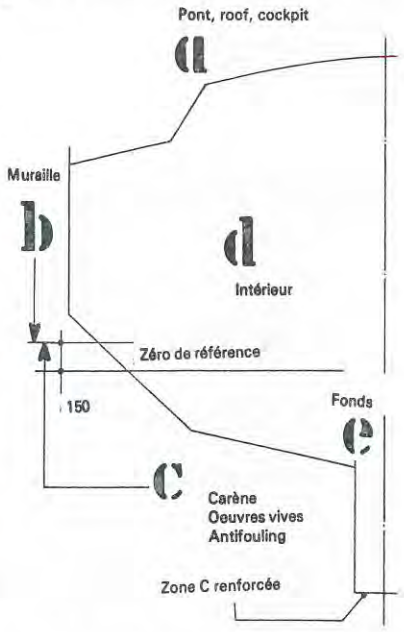
● **Avantages :**

● excellente résistance mécanique,

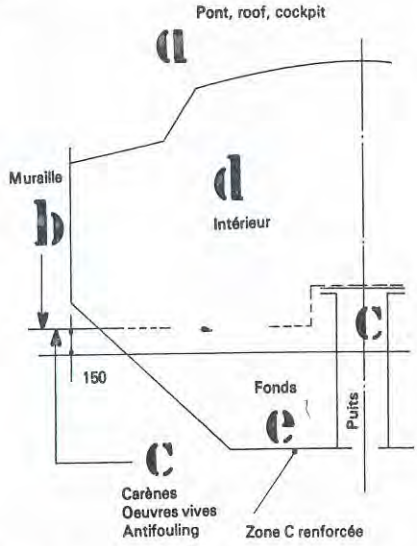
● bonne résistance aux produits chimiques,

● produits ayant un extrait sec nettement supérieur,

Croquis C 71 : *Zones de peintures d'un quillard.*



Croquis C 72 : *Zones de peintures d'un dériveur.*



● grande durabilité.

● **Inconvénients :**

● sensibilité plus forte aux conditions atmosphériques au moment de l'application.

● **Option « époxy brai » :**

Supérieur du point de vue protection de carène. Mais « *remonter* » l'époxy brai nettement au-dessus de la flottaison et « *descendre* » l'intergard jusqu'à la flottaison pour éviter d'éventuels problèmes au niveau de la rupture du film de peinture.

Acier shoopé (ou métallisé)

Ce procédé bien qu'onéreux est parfois employé. Il faut cependant savoir que la couche de zinc obtenue n'est pas uniforme, tant au niveau de sa surface que de sa structure. **De manière imagée, on pourrait la comparer à une éponge. Or que fait une éponge en présence d'eau** : elle l'absorbe ! Si le zinc n'est pas recouvert rapidement par un produit fluide faisant en quelque sorte office de « bouche pore », il prendra l'humidité et s'oxydera en profondeur et il sera pratiquement impossible de faire adhérer efficacement une surpeinture !

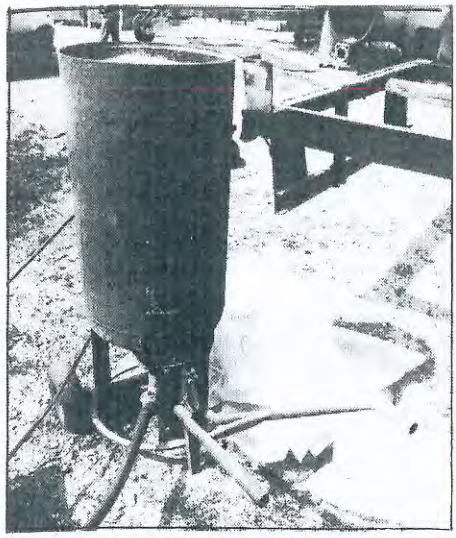


Photo C 42 : *« Matériel de sablage ».*

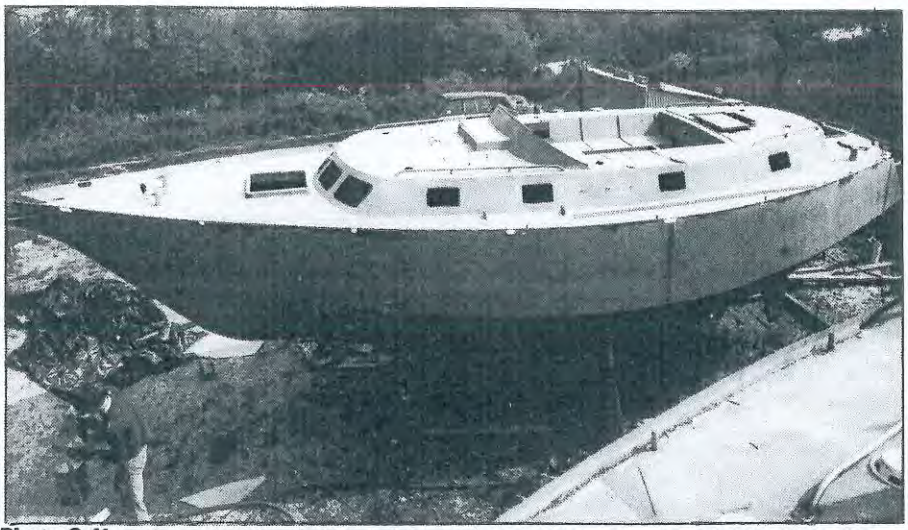


Photo C 41 : *« Ce pont est terminé de chaudronnerie, on peut le sabler et le peindre ».* (Photo faite pendant le sablage).

Photo C 43 : *« Sablage et zingage à chaud au pistolet »* (Form'Océan).



Photo C 44 : *« Matériel de zingage ».*

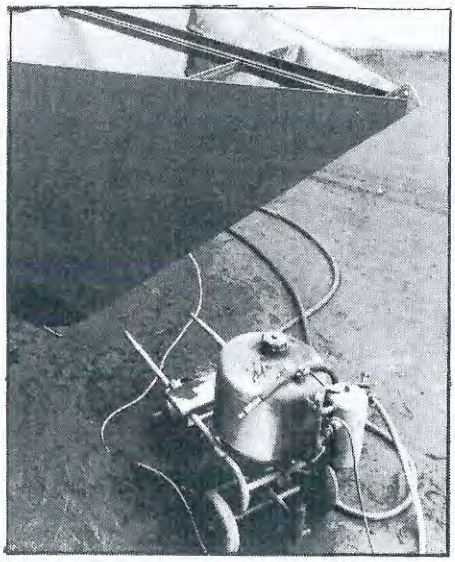


Photo C 45 : *« Finition de peinture sur cette coque pontée en formes ».*

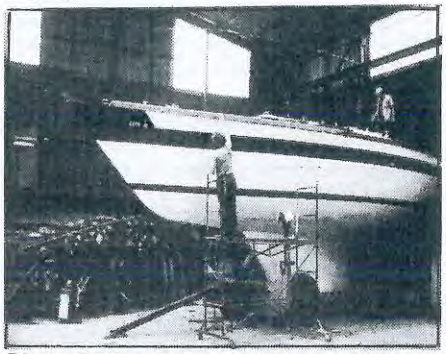


Photo C 47 : *« Application d'une peinture saturée en zinc, au pinceau ».*



Pour assurer la bonne tenue des surpeintures, application d'une couche d'Intergard primaire rouge Ega 088/089 à la brosse ou au pistolet airless pour une meilleure pénétration, dans les quelques heures suivant le shoopage (diluant GTA 220) extrait sec 47 %, épaisseur humide 75 microns, sèche 35 microns P.C. théorique 13 m²/l.

Reprendre ensuite l'un des systèmes précédents (sans la couche d'époxy zinc !).

Les aciers zingués

Ce procédé est parfois employé.

Son inconvénient majeur est la nécessité d'une préparation de surface (balayage au sable ou léger décapage, dégraissage) avant les sur-peintures, car les risques de manque d'adhérence ne sont pas à négliger.

Nécessite également des retouches au pinceau des soudures. Après sablage SA3 de ces surfaces, appliquer à la brosse une couche d'Interzinc Epoxy ETA 450 (mono composant, extrait sec 37 %, épaisseur humide 140 microns, sèche 50 microns, PC théorique : 3,3 m²/kg).

Les tôles zinguées peuvent être rayées lors des manutentions, ces rayures doivent être retouchées comme les soudures.

Recouvrir ensuite l'ensemble de la coque par une couche de Interplate vinyl brosse NFA 654/655 (deux composants, extrait sec 16 %, épaisseur humide 150 microns, sèche 25 microns, PC théorique 6,6 m²/l, diluant GTA 544).

Reprendre ensuite l'un des systèmes précédents (sans la couche d'époxy zinc).

NB. Les systèmes peuvent éventuellement être *« panachés »* (nous ne disons pas *« surcouchables »*, c'est-à-dire qu'il est possible, par exemple, de traiter œuvres mortes et carène en caoutchouc chloré, pont et roof en époxy et intérieur en époxy brai.

Cas particuliers

● **Ponts** : Nous conseillons de saupoudrer l'agent antidérapant aussitôt après l'application de la 1re couche de finition (procédez par petite surface ou faites-vous aider !). Ensuite après séchage, balayez l'excédent et appliquez la 2e couche pour *« fixer »* la poudre.

Il est également possible de mélanger la poudre à la 2e couche mais il est alors conseillé de *« pocher »* la peinture pour obtenir une bonne uniformité (ne pas oublier d'agiter en permanence le produit pour une bonne homogénéité).

En cas de revêtement de pont genre *« treadmaster »* sur les systèmes époxy, nous conseillons de coller le revêtement (en général avec colle époxy) sur l'Intergard HB. Faire ensuite les joints avec l'intergard finition.

● **RESERVOIRS D'EAU DOUCE, GAS-OIL, KERDANE**

Problème important à bord d'un bateau de grande croisière. Nous vous proposons une peinture époxy faisant l'objet d'un procès-verbal d'alimentarité.

Appliquer sur tôle sablée SA 2,5/3 à l'airless 2 couches d'Intergard HS finition THA 342/THA 344 blanc (conditionnement 20 l, diluant GTA 220, extrait sec 80 %, épaisseur humide 160 microns, épaisseur sèche 125 microns, PC théorique 6,4 m²/l).

Si vous appliquez autrement qu'à l'airless, augmentez le nombre de couches jusqu'à obtenir une épaisseur sèche minimale de 250 microns.

Avant mise en service, il est indispensable de laisser polymériser au moins 8 jours. Remplir 3 fois le réservoir (en le laissant plein pendant 24 h à chaque fois) pour éliminer toutes les impuretés.

Enduits

Nous déconseillons fortement l'usage d'enduits polyester en œuvres vives et dans une moindre mesure en œuvres mortes.

Les défauts majeurs des enduits polyester peuvent se révéler extrêmement désagréables à l'usage.

- adhérence parfois mauvaise,
- cloquage des sur-peintures par rejet de styrène ou d'humidité (suivant que l'enduit est plus ou moins rapidement recouvert par une peinture étanche).

Nous préconisons l'emploi de notre enduit époxy Intergard EAA 820/EAA 821 à faible densité (2 fois plus léger qu'un enduit polyester).

Il s'agit d'un enduit idéal pour des reprises de forme importante (jusqu'à 5 cm d'épaisseur).

INCONVENIENTS :

Plus dur à poncer qu'un polyester. Aussi soigner l'application à la règle souple ou au couteau pour les petites surfaces.

Temps de séchage : environ 24 h.

Il faudra brosser l'enduit à l'eau douce (sans détergent) avant toute sur-peinture pour éliminer les amines exsudées lors de la polymérisation.

On pourra accélérer cette polymérisation en rinçant régulièrement au jet.

Notre conseil : lorsque l'enduit est encore « amoureux », passer un chiffon imbibé de diluant GTA 220 pour lisser la surface et gagner du temps au ponçage. Pour obtenir une finition parfaite en œuvres mortes, utiliser un enduit de ratissage de notre gamme Yachting.

L'OPINION DE META SUR LA PEINTURE DU BATEAU EN ACIER

POURQUOI DOIT-ON DECAPER AU JET D'ABRASIF ?

« Les peintures les plus nobles proposées sur le marché imposent malheureusement des préparations de surface à la hauteur de leurs qualités techniques, aucun miracle n'étant possible.

En milieu salin, une tôle calaminée présente les caractéristiques suivantes :

- **Cœur de l'acier** : *anode.*
- **Sa calamine** : *cathode.*

Dans ce même milieu, après sablage à blanc et traitement avec un bon revêtement de zinc, la tôle ainsi traitée présente les caractéristiques suivantes :

- Acier : *cathode.*
- Revêtement de zinc : *anode.*

Ainsi, a-t-on renversé les éléments et stoppé radicalement le processus d'auto-destruction de l'acier.

De plus, la calamine n'est pas uniformément adhérente sur l'acier ; l'humidité qui pénètre la décolle à coup sûr et c'est l'amorce de corrosion.

Enfin, même si la calamine paraît relativement adhérente sur l'acier :

a) Elle n'offre pas une granulométrie suffisante à l'accrochage d'un bon produit.

b) Cette adhérence dans le temps n'est pas mesurable et on aura des ruptures.

Il faut donc décalaminer les surfaces par un moyen mécanique ou chimique.

Les meilleurs décapages sont obtenus au corindon, au sable ou aux scories.

Un organisme, l'Office national d'homologation des garanties de peinture industrielle a défini trois degrés de décapage par projection d'abrasifs :

- 1er degré de décapage ou nettoyage par décapage,
- 2e degré de décapage ou décapage soigné,
- 3e degré de décapage ou décapage à blanc.

Le grenaillage (suivant normes ci-dessus) permet lui aussi, moyennant quelques précautions, d'obtenir des résultats parfaits.

Le meulage qui est empirique, très long pour être efficace, donc cher, n'offre pas un état de surface parfait (lissage au lieu d'une granulométrie).

Les produits chimiques ne peuvent décalaminer efficacement qu'au *bain* et demandent à être utilisés avec discernement, car leur technique d'utilisation est complexe ; le contrôle des rinçages en particulier pose des problèmes sérieux, il n'est donc pas applicable au traitement des bateaux.

Il s'avère donc inutile d'acheter (et beaucoup de personnes mal informées le croient cependant) des produits chers appliqués sans préparation sérieuse de surface ».

METHODE DE SABLAGE RECOMMANDEE POUR VOILIERS ACIER

Conditions à choisir : bateau à l'abri (pluie et soleil), temps relativements sec.

Matériel conseillé : compresseur : 40 cv mini, 60 cv maxi ; sable : 0,4 à 1 mm ; buse de sableuse Ø 8.

Ordre des travaux :

a) Mise à nu du bateau (démontage de tous les éléments boulonnés).

b) Sablage intérieur des fonds (D.S. 2) avec recyclage du sable.

c) Sablage intérieur des bordés inférieurs puis supérieurs (D.S. 2).

d) Sablage intérieur du pont et des roofs (D.S. 2).

e) Enlèvement du sable qui s'est accumulé à l'intérieur sans dépoussiérage. (En effet, celui-ci serait à recommencer plus tard).

f) Sablage extérieur et peinture des superstructures D.S. 3 avec le sable de récupération mélangé à 50-50 avec du sable neuf (en soignant les raccords intérieur-extérieur).

g) Sablage extérieur et peinture de la carène D.S. 3.

Commencer par le haut car un ruissellement de pluie amenée par un vent violent sur l'ouvrage en cours n'entraînera pas de la rouille sur les parties déjà traitées.

Nota : pour f) et g), peindre les parties sablées au « Métagrip » dans les 3 ou 4 heures qui suivent le sablage ; par temps sec, on peut prolonger à 6 ou même 7 heures, ce qui revient à n'avoir qu'une opération de peinture par jour.

h) Dépoussiérage soigné de l'intérieur complet du bateau.

i) Application d'une couche générale d'Orgazinc à l'intérieur du bateau.

On constate donc qu'entre le début du sablage intérieur (b) et l'application de l'Orgazinc (i), un temps de plusieurs jours, voire 1 semaine, s'est écoulé.

Nous vous donnons tous apaisements à ce sujet : une surface bien décalaminée par sable D.S. 2 à l'intérieur peut parfaitement convenir à notre Orgazinc, même si entre-temps, de la condensation a légèrement réoxydé la surface.

j) Passage des 2 autres couches de Métagrip à l'extérieur.

k) Passage des 2 autres couches d'Orgazinc à l'intérieur.

QUANTITES DE SABLE A UTILISER :

La consommation de sable est extrêmement variable suivant les conditions de travail, elle peut aller du simple au triple suivant l'adresse des exécutants.

L'expérience nous a montré que pour un bateau de 12 m traité D.S. 3 extérieur et D.S. 2 intérieur, un approvisionnement de 10 tonnes pouvait convenir minimum.

Bien entendu, on peut en utiliser encore moins, mais avec plus de travail de récupération car le sable deviendra moins abrasif, on consommera donc plus de fuel, on gardera le matériel plus longtemps en location, etc. bref, ce n'est pas rentable.

Sur les chantiers professionnels, on ne recherche pas à récupérer le sable trop longtemps en raison du prix de la main-d'œuvre, on prévoit donc le cas particulier des bateaux de 12 m, plus de 10 tonnes.

Méthode recommandée de protection pour yachts acier

A) ANTI-CORROSION :

Préparation

Ordre des couches et nature du revêtement - Application :

Code 1 : Protection générale extérieure
D.S. 3 dit aussi S.A.3 (sablage à blanc)
Très léger ponçage
Très léger ponçage

- 1 inorganique au zinc silicaté (Métagrip) brosse
- 1 inorganique au zinc silicaté (Métagrip) brosse
- 1 inorganique au zinc silicaté (Métagrip) brosse

(ne jamais mettre plus de 3 couches de Métagrip)

Mise en place d'anodes sacrificielles.

Code 2 : Protection générale intérieure
D.S.2 dit aussi S.A.2 (sablage soigné)
Essuyage au balai propre et sec
Essuyage au balai propre et sec

- 1 organique riche en zinc (Orgazinc) brosse
- 1 organique riche en zinc (Orgazinc) brosse
- 1 organique riche en zinc (Orgazinc) brosse.

Pour tous conseils concernant le sablage : demander notre document : méthode de sablage recommandée pour voiliers acier.

Important: Il est vivement conseillé de n'attaquer les travaux de sablage que lorsque toute la chaudronnerie et toute la serrurerie de détail sont **entièrement** terminées car les retraitements après nouveaux travaux métallurgiques sont forcément de moins bonne qualité. D'autre part, le prix de revient final sera plus élevé.

Sur votre demande, nous pouvons vous donner une liste de tous les appendices habituellement prévus sur un voilier acier afin d'éviter des outils.

B) FINITION

Préparation

Ordre des couches et nature du revêtement - Application :

Code 3 : Laquage œuvres mortes (nous conseillons de limiter ces couches à une distance de 10 à 15 cm au-dessus de la ligne de flottaison théorique).

Léger ponçage et neutralisation de Métagrip :

Ponçage
Léger ponçage
Très léger ponçage

- 1 sous-couche (Métadhère) brosse
- 1 laque de finition (Métalac) brosse
- 1 laque de finition (Métalac) brosse
- 1 laque de finition (Métalac) brosse.

Couleur conseillée : notre Orange 720-75 (toujours tenu en stock)

Code 4 : laquage des superstructures (travail à reporter si possible lorsque le bateau est fin prêt à naviguer).

Léger ponçage et neutralisation de Métagrip :

Ponçage
Léger ponçage
Très léger ponçage

- 1 sous-couche (Méthadère) brosse
- 1 laque de finition (Métalac) brosse
- 1 laque de finition (Métalac) brosse
- 1 laque de finition (Métalac) brosse

Couleur conseillée : notre blanc 75 (toujours tenu en stock)

Code 5 : antifouling.

Liste des appendices habituellement prévus sur une coque de voilier acier

- **(Devant être terminés avant tout travail d'anti-corrosion)**
- Vidanges de cockpit - Découpe des dalots sur pavois - Supports de béquilles.
- Liston de finition sur pavois.
- Hiloires diverses - Taquets divers.
- Pattes sur pont et roofs (diverses fixations éventuelles).
- **Ouvertures diverses** : panneaux, hublots, dômes, aérateurs, etc...
- Etambot + crapaudine + gouvernail terminés - Tube étambot porte-arbre d'hélice.
- Système de préhension du bateau pour grutage - Cadènes de gréement.
- Ensemble support de mâts avec épontille, renforts nécessaires et passages de fil pour électronique.
- Bittes d'amarrage et de guindeau (trois à l'avant, deux à l'arrière) - Chaumards.
- Support de guindeau - Davier d'étrave - Support d'ancre.
- Pare-chocs (éventuellement).
- Balcons avant et arrière - Balcons de mâts - Chandeliers.
- Perçage ou mise en place des rails et barres d'écoute.
- Points de tire divers (écoutes, amures, renvois).
- Supports pour feux de navigation avec passage des fils sur le pont.
- Supports pour radeau de sauvetage, annexe et hors-bord (éventuel).
- Support de winches avec leurs taquets.
- Support du compas (dans l'axe longitudinal du bateau).
- Orifices de remplissage eau et fuel et trous d'évent des réservoirs.
- Sorties d'aération pour ventilation moteur.
- Perçage pour les commandes à distance moteur.
- Perçage pour tableau de bord distance.
- Fixation des éléments du système de barre (à roue ou franche).
- Fixation du régulateur d'allure.
- Support de treuil de relevage de la dérive (si dériveur) avec ses poulies diverses.
- Support du système de relevage du gouvernail (sur certains dériveurs) avec ses poulies diverses.
- Supports pour aménagements et vaigrages.
- Support des planchers et des cloisons (éléments importants de l'indéformabilité de l'ensemble de la coque).
- Cloison de cale réglementaire pour séparation du moteur.
- Cloison de chaîne avec étalingure dans le pic avant.
- Réservation pour loch (possible sur puits avec certains lochs).
- Puits remontant en dessus de la flottaison pour : sondeur, prises d'eau de mer, cuisine, WC (pompage et évacuation), refroidissement et échappement moteur.
- **Evacuation des eaux usées** : lavabos, cuisine, pompes de cale (il est souvent intéressant de se brancher sur un ou les deux tubes de vidange de cockpit sinon prévoir sortie à hauteur de la flottaison).
- Support moteur
- Support bac à batterie
- Pattes de fixation des réservoirs métalliques de fuel et d'eau.

(Cette liste essentielle n'est pas limitative). *(Photos C 41 à C 47, croquis C 71 et C 72).*

12

LA PROTECTION CATHODIQUE DES BATEAUX EN ACIER DOUX

Ce chapitre est un de ceux qui prêtent le plus à controverses, à tel point que les sociétés qui font profession de calculer et poser les anodes sur un bateau en acier doux refusent de généraliser et n'opèrent qu'unité après unité. Il faut bien, pourtant, dégager quelques généralités pour qu'une approche de ce sujet soit possible pour le plus grand nombre.

La migration ionique dépend de plusieurs facteurs, dont certains sont peu contrôlables :

- la différence des potentiels de dissolution des métaux en présence ;
- le rapport des masses de ces métaux ;
- la mise à la masse continue ou momentanée ;
- les fuites résiduelles de mises à la masse involontaires ;
- la salinité de l'eau de mer, sa teneur en chlorures ;
- la pureté de l'eau de mer, sa teneur en animalicules et salissures ou résidus chimiques ;
- la pureté de l'air et sa teneur en résidus industriels ou domestiques ;
- la température de l'eau de mer, et la température ambiante plus généralement parlant ;
- l'usure des anodes mises en place.

Pour dégager des généralités et pour qu'un architecte naval puisse faire un plan de pose des anodes, il faut concevoir qu'entre le bateau le mieux protégé et le bateau du même modèle le moins bien protégé, il existe une fourchette dont le seuil est la disposition suffisante et le haut, par voie de conséquence, sera excessif.

A cette fourchette correspondra enfin une réponse type d'anodes en masse, nombre et disposition. Je souligne que cette réponse ne peut être qu'une approximation.

L'acier étant nettement moins dangereux que les alliages légers en ce domaine, ce type d'approximation est plus commode à établir.

Cependant, seul un contrôle à flot avec un millivoltmètre permet d'être certain que l'installation est correcte. Il est d'ailleurs possible de fabriquer un tel système avec deux fils et deux lucioles. On peut, en appliquant les fils sur la coque, voir s'il y a des fuites et si elles sont négatives ou positives.

Cette réserve sur la difficulté de protéger un bateau en acier est encore plus grande et je félicite *S. Langevin* d'avoir dit tout haut ce que beaucoup pensent tout bas, que *« l'aluminium n'était pas à prendre à la légère »* en construction individuelle. Tout comme l'équipement électrique et la motorisation d'une coque pontée en alliage léger achetée à un constructeur professionnel !

La suite ne concerne que l'équipement de voiliers en acier doux E.24, E.26 ou E.36. Le cas de l'aluminium est analysé par ailleurs dans cet ouvrage, de même que celui des aciers inoxydables.

LE COUPLE GALVANIQUE

Il existe trois types principaux d'effets de pile :

- le couple galvanique entre deux métaux de potentiels de dissolution différents ;
- l'effet de pile entre deux zones d'une même construction présentant des hétérogénéités de structure cristalline ou de traitements. Par exemple, une zone écrouie par une mise en formes et une zone recuite par un soudage. Il s'agit de micro-couples ;
- l'effet de pile entre une zone aérée normalement et une autre privée d'oxygène par la stagnation de salissures humides.

Dès qu'il y a différence de potentiel de dissolution et électrolyte, il y a corrosion de l'élément le moins noble à l'échelle des potentiels de dissolution, ou le moins oxygéné.

Le phénomène est connu pour l'immersion en eau de mer.

Il l'est moins pour la présence d'eau douce. Par exemple, les filières en câbles d'acier inoxydable qui se corrodent dans leur gaine en plastique. Le phénomène est dû à la présence d'eau de condensation dans les gaines et non d'eau de mer. La présence de traces de chlorures pouvant cependant être aggravante. L'eau de condensation contient de l'acide carbonique et de l'oxygène dissout. Il se forme des micro-couples dans le métal, dus à des

hétérogénéités de sa surface et à la conductibilité de l'électrolyte qui pourtant paraît anodin : de l'eau... pure !

On répond en général aux risques de corrosion de l'acier doux par le zinc utilisé sous plusieurs formes :

- dépôt électrolytique = tôles électrozinguées ;
- dépôt par projection à chaud = tôles métallisées ;
- dépôt par peinture à froid = peintures riches en zinc ;
- anodes en zinc fixées à la coque.

Les trois premières solutions ont pour rôle principal de résoudre le problème de la corrosion entre deux points de la coque d'acier. La quatrième complète ce rôle et protège l'ensemble contre les couples galvaniques créés par des apports d'autres métaux.

Entre deux zones d'un même métal peut se créer un micro-couple. Des hétérogénéités du métal en sont la cause. Ces hétérogénéités proviennent de différences de structure cristalline, de traitements thermiques différents, de traitements mécaniques différents. Les potentiels de dissolution de ces points qui restent du même métal sont différents mais tous deux se situent dans des valeurs proches l'une de l'autre et en substituant au point qui jouait le rôle d'anode et risquait de se détruire un métal d'une valeur nettement inférieure, moins noble, électronégative par rapport au moins électropositif des deux zones, on détourne la réaction. Alors, toutes les zones métal électropositif (l'acier) prennent la fonction unique de cathode par rapport au revêtement fait du métal électronégatif (le zinc).

C'est le principe de l'unité face à l'adversité.

La couche protectrice de zinc déposée par l'un des procédés mentionnés plus haut joue ce rôle unificateur.

Par contre, si un passe-coque ou une hélice en bronze sont fixés sur le bateau en acier, leur électropositivité, par rapport à la coque, endommagerait celle-ci. On substitue à l'acier, qui jouerait un rôle d'anode, des masses d'un métal plus électronégatif que lui par rapport au bronze qui reste la cathode. Le zinc est le métal le plus employé pour ces « *anodes de substitution* ». Le magnésium et l'aluminium sont deux autres possibilités, mais plus onéreuses.

LES ANODES EN ZINC

Le principe est de relier par un contact conducteur permanent au métal à protéger (la coque du bateau en acier doux) un métal qui lui est électronégatif dans le tableau des potentiels de dissolution. Par rapport à un troisième métal électropositif, l'acier (acier inoxydable, cuivre, bronze), ces anodes se substituent à l'acier doux et détournent sur elles la réaction corrosive électrochimique. Le métal initial devenu cathode se trouve immunisé de la corrosion.

Le zinc est utilisé depuis près de deux siècles pour ce rôle d'anodes peu coûteuses, qui ne réclament pas d'entretien et durent longtemps.

La quantité d'anodes à mettre en place dépend d'un certain nombre de facteurs énoncés en tout début de ce chapitre.

Divers facteurs en modifient la consommation.

FACTEURS AUGMENTANT LA CONSOMMATION D'ANODES :

- les eaux chaudes des régions subtropicales ;
- l'eau polluée des ports ;
- des courants chauds ou acides léchant certaines régions tempérées ou industrialisées ;
- une masse importante d'un métal électropositif soudée à l'acier inox ou boulonnée : bronze, cuivre, laiton ;
- le manque de peintures de protection au zinc dans une ou plusieurs régions immergées de la carène ;
- la porosité des peintures de finition ;
- la baisse de masse des anodes de substitution ;
- l'insuffisance de masse des anodes en zinc ;
- la mise à la masse d'appareils électriques ;
- la mise à la masse des métaux électropositifs, même s'ils ne sont pas soudés : arbre, hélice, passe-coque, vanne en inox, cuivre, bronze.

FACTEURS DIMINUANT LA CONSOMMATION D'ANODES :

- les eaux froides des hautes latitudes Nord ou Sud ;
- la présence d'eau douce froide et non polluée, près de glaciers polaires, près de grands fleuves non pollués ;
- des courants froids lèchant des côtes de régions chaudes (Portugal) ;
- **l'isolation par des montages utilisant des matériaux synthétiques de métaux électropositifs :** arbre d'hélice, mèche de gouvernail ;
- une quantité suffisante d'anodes en zinc ;
- le bon état de ces anodes, leur bonne fixation à l'acier de la coque ;
- la diminution des masses de métaux électropositifs par rapport à l'acier.

Ainsi, on remplacera une hélice en bronze par une hélice en inox, ou mieux encore en aluminium ; un arbre de moteur en bronze par un arbre en inox. On remplace un passe-coque ou une vanne en bronze par un passe-coque en matériau synthétique ou en acier galvanisé et une vanne en matériau synthétique (Delrin, PVC) ou inox. Ou bien on fixe la vanne en bronze au bout d'un passe-coque en acier galvanisé montant au-dessus de la flottaison en charge.

On fera attention à choisir des sondeurs, lochs, en matériau synthétique et sans bague en cuivre ou bronze.

Le moteur sera tout à fait isolé ou tout à fait mis à la masse, considérant et l'angle des métaux et celui du câblage qui réclame de toute façon un parfait montage. Pour ma part, je préfère tout isoler !

LA QUANTITE D'ANODES

Elle se calcule selon deux axes : la surface à protéger et la masse des anodes.

- **La surface à protéger : 1 dm² de zinc protège normalement :**
- 8 m² d'acier bien peint ;
- 4 m² d'acier anciennement ou mal peint ;
- 2 m² d'acier non peint.

Il faut calculer la surface immergée du bateau pour en déduire la surface des anodes. Pour que les constructeurs puissent décider de leur achat d'anodes, l'architecte doit leur indiquer la dimension et la masse des anodes et la surface à protéger. C'est indispensable.

Par exemple :

Pour 100 m² de surface de carène bien peinte, il faudra :

$$1\ dm^2 \times \frac{100}{8} = 12{,}5\ dm^2 \text{ de zinc}$$

- **La masse des anodes :**

— pour les anodes, sur spécification de la Marine nationale française, la surface utile développée par anodes de type 2 Z est de 8 dm².

$$\text{Exemple : } \frac{12{,}5}{8}\ dm^2 = 1{,}56 \text{ anode.}$$

Pour des anodes pesant par exemple 12 kg, le poids total est de $1{,}56 \times 12 = 18{,}72$ kg.

Il faudra de 18 à 19 kg de zinc sous forme de plusieurs anodes placées là où des hétérogénéités le nécessitent, sous la flottaison.

DUREE DES ANODES

S'il faut entre 10 et 12 milliampères d'intensité de courant par m² et 1,34 gramme de zinc par ampère heure =

$$0{,}0012\ AH \times 1{,}34\ g \times 100\ m^2 = 1{,}6\ g/h$$

donc 1,6 gramme par heure.

Avec 19 kg de zinc, on table sur :

$$\frac{19}{0{,}016} = 12.000 \text{ heures}$$

Les anodes seront consommées en un an et quatre mois. Théoriquement, car si le bateau se déplace, il y aura sans doute des modifications du milieu accélérant ou ralentissant la consommation.

De plus, cette consommation est calculée en système statique alors qu'on se trouve en écoulement permanent, que le bateau navigue ou qu'il soit fixe dans des

courants de marée. Et aussi, au fur et à mesure de la fonte des anodes, le rapport entre le poids de zinc et la surface à protéger augmente et la consommation augmente aussi.

D'après le calcul précédent, un bateau dont la surface mouillée est de 100 m² (environ un bateau de 15 m) sera protégé par 19 kg d'anodes de zinc pendant près d'un an et demi en eaux froides ou peu polluées, ou un an en eaux polluées ou subtropicales.

EMPLACEMENT DES ANODES

Il existe plusieurs écoles et le risque est grand pour celui qui aura mis une quantité insuffisante d'anodes sur un bateau mal peint, et placées n'importe où. Comme il faut cependant dégager des généralités, voici ce que je prescris dans mes plans :

- soit un système d'anodes placées dans le plan horizontal de l'axe de l'hélice avec une paire d'anodes sur l'aileron de gouvernail ou le gouvernail dans le prolongement de l'arbre d'hélice ;
- soit une paire d'anodes sur l'aileron ou le gouvernail dans le prolongement de l'arbre d'hélice ; une paire d'anodes sur la coque au droit du plan de l'hélice et à une distance de l'axe égale au diamètre de l'hélice + 10 %.

Les autres paires d'anodes étant à la même distance de l'axe du bateau.

Longitudinalement, les anodes s'étendent entre le premier tiers de la longueur de flottaison et le niveau de l'hélice, par paire, plus une paire sur l'aileron de gouvernail.

On utilise le plus souvent en plaisance les anodes des types :

- 1 B. Anode ronde de 1 kg, diamètre 128 mm, épaisseur 23 mm, surface utile 1,30 dm² ;
- 2 B. Anode en forme de demi-œuf, de 2,2 kg, de 142 mm de long et 92 mm de large, épaisseur 44 mm, surface utile 1,50 dm².

Pour tout renseignement, il faudra se documenter auprès du Centre technique du zinc.

FIXATION DES ANODES

Pour être efficaces, les anodes doivent être en contact permanent avec l'acier de la coque. Pour ce faire, il existe deux méthodes.

- boulonner ;
- souder.

Anodes boulonnées

Il n'est naturellement pas question de percer la coque pour boulonner les anodes. On soude sous la coque, aux bons emplacements, soit des pions carrés, soit des U inversés. Les pions seront taraudés et de préférence en inox. Le filetage ne sera bien sûr pas peint !

Les U seront percés et on les prévoit assez écartés de la coque pour passer les écrous entre eux et le bordé.

En général, les anodes sont serrées avec des rondelles indesserrables. Les anodes ne doivent pas être peintes, ni leurs pattes de fixation, ni les boulons, ni les filetages.

Il existe des boulons qu'on soude à l'envers contre le bordé et sur lesquels on serre directement l'anode.

Attention ! Si des salissures venaient à s'accumuler entre le boulon et les pattes de fixation de l'anode, le courant serait interrompu et l'anode ne jouerait plus son rôle protecteur.

Anodes soudées

Une soudure est un moyen parfait pour assurer la continuité électrique entre l'anode et le bordé... à condition qu'elle soit bien faite et que les points de soudure ne cassent pas.

On soude sur la coque des pions carrés de 40 × 40 × 5 mm en acier ou inox.

On pointe les pattes des anodes sur ces pions.

On peut aussi souder sur la coque des U inversés. Les anodes sont pointées sur ces U. Comme la surface de ces pions ou de ces U ne doit pas être peinte pour le soudage, ils seront en acier galvanisé ou en inox.

Ma préférence va au montage soudé, mais s'il est bien fait, le montage boulonné présente de bonnes garanties.

Ainsi, bien protégée par ses peintures au zinc et ses anodes, en limitant des masses de métaux électropositifs, la coque en acier a fort peu de chances d'être la victime d'une corrosion galvanique. Voyez le chapitre correspondant pour les coques en aluminium et aussi les chapitres sur les peintures et les textes généraux sur les formes de corrosion.

LA COMPATIBILITE DE L'ACIER AVEC DES EQUIPEMENTS FAITS D'UN AUTRE METAL

Lorsqu'on consulte un tableau des potentiels de dissolution, on remarque que l'acier est assez bien placé. Mais pour sauvegarder le bon état, non seulement de la coque pontée, mais aussi de l'équipement, il faut se plier à certaines règles.

Tout d'abord, il faut comprendre que pour que l'effet galvanique ait lieu, il faut que le circuit électrique soit fermé, c'est-à-dire en boucle continue. Si une des conditions n'est pas remplie, le circuit est interrompu et, avec lui, la réaction. Il faut deux corps de potentiels assez différents.

Il faut un contact direct ou par l'intermédiaire d'un conducteur et il faut un électrolyte, c'est-à-dire, pour ce qui nous concerne, de l'eau de mer, circulant ou stagnant.

Voire de l'eau douce qui, au contact de dépôts salins séchés et d'autres substances ou sels minéraux, se charge de suffisamment de chlore pour provoquer l'électrolyse.

Des éléments de potentiels différents, sans présence d'eau de mer, ne réagissent pas.

Ainsi, sur le pont, peut-on considérer que lorsqu'il n'y a pas de risque de stagnation d'eau de mer, on peut associer deux métaux de potentiels différents tels qu'aluminium et acier inoxydable. On le rencontre dans la fabrication des poulies. Mais que ces poulies stagnent dans une flaque d'eau de mer et la réaction se déclenche.

Considérant que même sur le pont, il y a risque de stagnation d'eau de mer, on monte de façon isolée par une interposition de semelle ou bague synthétique :

- des chandeliers et balcons en aluminium dans des embases en acier ou en aluminium.
- des vis en inox dans des objets ou un pont en aluminium.

Par contre, on considère que la peinture du pont en acier est largement assez isolante (car je vous rappelle qu'il faut un contact pour déclencher la réaction) pour qu'on puisse monter directement sur le pont, peint, le pied de mât et de l'accastillage en aluminium et en inox.

Sur le mât, on monte ouvertement des ferrures en inox sur le tube en aluminium d'une part, grâce à la présence de l'anodisation ou de la peinture. Et, d'autre part, parce qu'on considère qu'il y a vraiment peu de risques de stagnation d'eau de mer à cette hauteur.

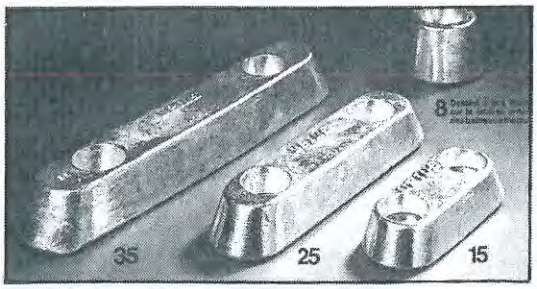
Sous l'eau, le problème est plus important.

Il y a risque de corrosion avec perte d'acier lorsqu'on monte trop d'inox ou de bronze au contact de l'acier = boulonné pour la liaison bronze-acier ou bronze-inox.

L'acier doux étant *« électronégatif »* par rapport à l'acier inoxydable et tous deux par rapport au bronze, on évite donc soigneusement de serrer un passe-coque en bronze sur une coque en acier (même peinte !). Et on se méfiera des lochs, speedo, sondeurs en matériau synthétique mais munis d'une bague en bronze ou d'un joint torique en cuivre ou en laiton. Pas d'antifouling au cuivre ou au plomb. Tout ceci étant encore plus vrai pour une coque en aluminium !

Par contre, il est vrai qu'on peut monter une hélice en bronze sur une coque en acier pourvu que la ligne d'arbre soit très bien isolée de la coque. Mais la présence du bronze provoque une consommation accrue des anodes. Alors, pourquoi se créer des problèmes ?

Mieux vaut pour une coque en acier se procurer une hélice en aluminium, voire en acier ou en inox, forgés. A éviter, le bronze, à cause de



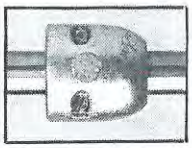


Photo C 49
« Anodes »



Photo C 50
U pour anode soudée

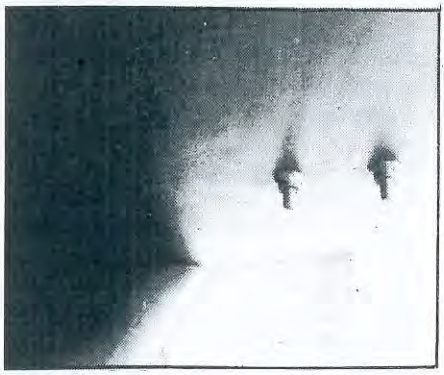


Photo C 51
Boulons soudés pour fixation d'une anode boulonnée

Photo C 52 *Anode boulonnée*



l'effet électrolytique sus décrit, et la fonte à cause des risques de bris de pale qui déséquilibrent l'hélice et peuvent voiler l'arbre.

● **L'idéal : l'aluminium.**

Dans ce cas, l'hélice se trouverait jouer le rôle d'anode consommable si un déséquilibre venait à se produire du fait du remplacement des anodes en zinc.

Il n'y a pas de risque important d'électrolyse entre un arbre d'hélice en inox correctement isolé et une coque en acier.

Il n'y a pas non plus de risque de corrosion entre la mèche de gouvernail et le reste du bateau si la mèche est isolée par ses bagues synthétiques.

Mais il y a une légère électrolyse entre toute masse d'inox et l'acier de la coque. C'est une des raisons pour lesquelles la présence d'anodes est indispensable sur la coque. Les anodes sont une substitution proposée à l'inox électropositif par rapport à l'acier pour qu'il ne consomme pas le métal de la coque. Si bien que la présence d'anodes autorise qu'une certaine quantité d'inox soit boulonnée ou soudée. Le zinc, fondant plus tôt que l'acier dans la réaction avec l'inox, protège l'acier.

Voyez pour une explication plus complète le chapitre sur les anodes.

On ne boulonnera pas d'aluminium sur une coque en acier sous la flottaison car c'est la destruction assurée pour la pièce en alliage léger. Pas de moteur S-Drive avec embase en aluminium sur une coque en acier !

MATÉRIEL DE ZINGAGE ET OPÉRATION AU CHANTIER ALIZÉS



Photo C 53

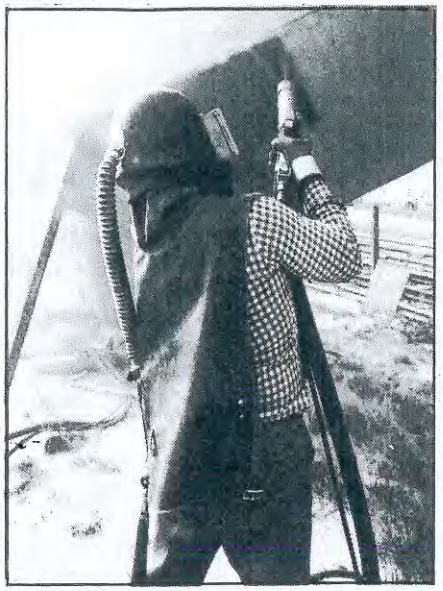


Photo C 55

Photo C 54

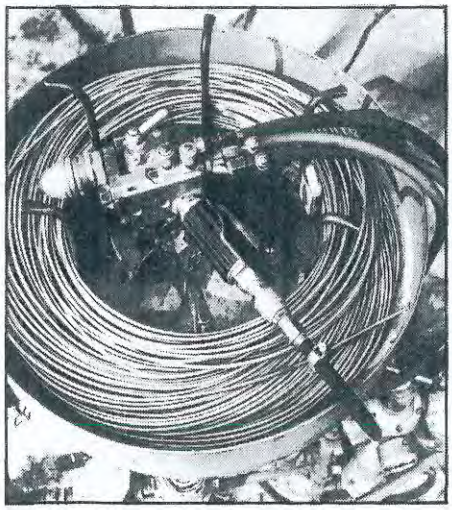
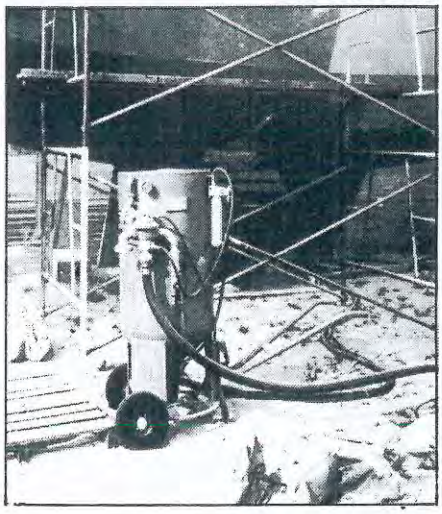
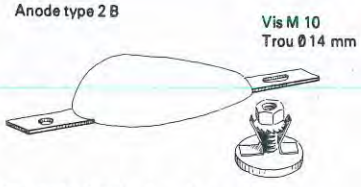


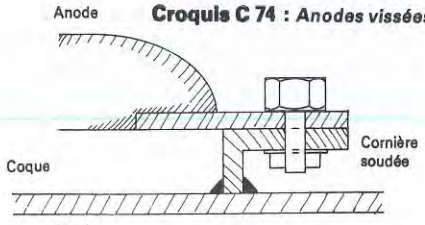
Photo C 56



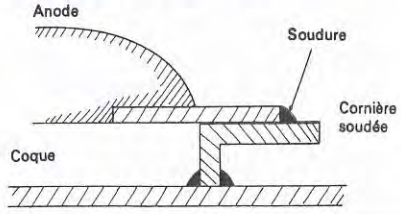
Croquis C 73 : *Jonction boulonnée spéciale pour fixation des anodes.*

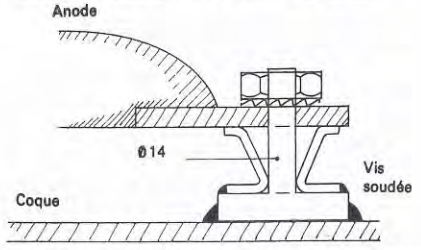


Croquis C 74 : *Anodes vissées.*

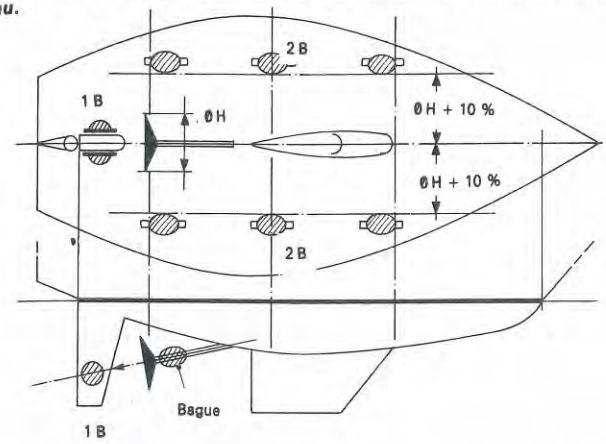


Croquis C 75 : *Anode soudée.*

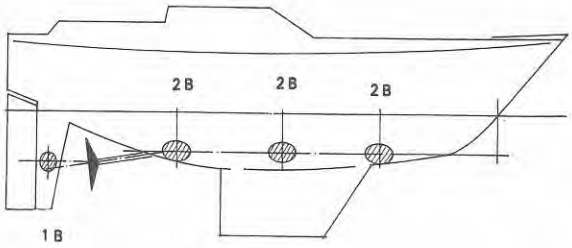




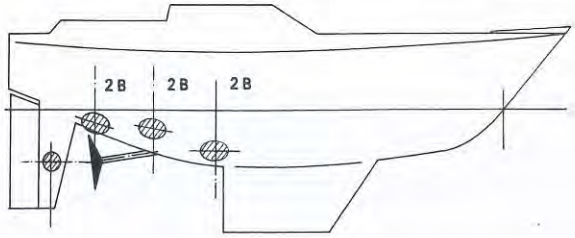
Croquis C 76 : *Disposition empirique des anodes parallèlement à l'axe du bateau.*



Croquis C 77 : *Disposition empirique des anodes dans un plan parallèle à la flottaison, au niveau de l'hélice.*



Croquis C 78 : *Disposition empirique des anodes autour de l'hélice.*



Voyez le chapitre correspondant, sur la compatibilité de l'aluminium avec les autres métaux constituant les pièces d'équipement, vous verrez la similitude des situations à la différence près que l'aluminium est électronégatif par rapport à tous les matériaux sauf le zinc !

A l'intérieur du bateau, il peut y avoir de la stagnation d'eau de mer dans la quille. Bien que celle-ci ait été peinte avant la pose du lest, il faudra veiller à isoler un lest en plomb d'une coque en acier. Une méthode simple consiste à résiner la quille du quillard ou les fonds du dériveur avec une résine à l'eau du type Torolite par exemple. Puis on pose ou descend le lest. Ou on le coule.

On pratique une étanchéité et un remplissage des vides entre les blocs du lest et l'acier en y coulant soigneusement cette même résine. Il faut éviter que l'eau de mer puisse s'infiltrer sous le lest.

Cela ne serait pas extrêmement grave, mais autant être un peu perfectionniste lorsqu'il s'agit du bateau pour lequel on a cassé sa tirelire et à la finition duquel on a passé tant de temps !

A l'intérieur du bateau en acier, il y aura peu d'autres précautions à prendre sur ce thème. Voyez les chapitres sur les autres formes de corrosion, qui conseillent d'éviter la stagnation d'eau et préconisent, pour faire circuler l'eau douce ou de mer, de pratiquer des anguillers partout où c'est possible. Pensez aussi à passiver avec une pâte adéquate toute pièce d'inox soudée à la coque ou au pont.

Je signale aussi le montage au chantier META de vannes en bronze peu coûteuses sur des passe-coques en acier doux, soudés à la coque mais qui montent au-dessus de la flottaison en charge (*photos C 49 à C 56, croquis C 73 à C 78*).

13

DES ACIERS POUR LA CONSTRUCTION NAVALE DE PLAISANCE : NUANCES ET CARACTERISTIQUES

Vous l'avez vu en début de cette étude sur l'acier, il existe une assez grande variété de qualités et nuances commercialisées avec un grand nombre de produits dans ces nuances.

La construction de plaisance, par les types de produits qu'elle nécessite et par les capacités mécaniques et chimiques dont ces produits ont besoin, n'utilise qu'une faible partie de ces nuances et de ces produits. **On peut classer en deux catégories les aciers utilisés en construction navale de plaisance :**

- les aciers ayant une limite élastique inférieure ou égale à 28 kgF/mm² (275 N/mm²),
- les aciers ayant une limite élastique supérieure à 28 kgF/mm².

Les produits concernés sont tous des produits laminés : tôles et profils, à part de rares tubes soudés.

A la première catégorie appartiennent des aciers dits :

- Acier coque Véritas, qualité A, 24 kgF/mm² de limite d'élasticité.
- Acier de construction de la norme NF A 35.501 qualités de 24 kgF/mm², E.24.2 (235 N/mm²) et de 26 kgF/mm2, E.26.2 (255 N/mm²).

Ce sont des aciers dits à « *résistance normale* ».

A la seconde catégorie appartiennent des aciers dits à « *haute résistance* ».

- Acier coque Véritas, AH 32 de 32 kgF/mm² de limite d'élasticité (315 N/mm²).
- Acier coque Véritas AH 36 de 36 kgF/mm² de limite d'élasticité (355 N/mm²).
- **Aciers de la norme NF A 35.501** : qualité E. 30.2 de 30 kgF/mm² de limite élastique, qualité E.36.2 de 36 kgF/mm² de limite élastique.

Tous ces aciers sont des aciers doux, de qualité courante ou à haute résistance. Ils conviennent pour tous les bateaux de plaisance. Leur solidité est remarquable avec une haute résistance à la traction et à la compression. Leur plasticité est intéressante et leur soudabilité excellente. Naturellement, il convient de prendre les précautions d'usage avant de souder, préparer les bords convenablement, bien choisir les électrodes et les données du soudage. Voyez ce chapitre.

La longévité et la résistance à la corrosion de ces nuances sont excellentes. Les qualités dites à « *haute résistance* » permettent d'alléger les échantillonnages et de gagner du poids.

Voyez à la suite les tableaux d'analyse des caractéristiques chimiques, mécaniques et dimensionnelles de ces nuances et de ces produits.

NUANCES CLASSEES SUIVANT LEUR DURETE :

Dénomination des aciers	Teneur en carbone approximative %	Résistance à la traction approximative N/mm² (1)
Extra-doux	0,10	370
Doux	0,10-0,20	370-450
Mi-doux	0,20-0,30	450-550
Mi-durs	0,30-0,40	550-650
Durs	0,40-0,50	650-750
Extra-durs	0,50	750

I. CARACTERISTIQUES GENERALES

I.1 - Aciers coque Bureau Véritas

Qualité	A	AH 32	AH 36
Composition chimique (analyse de coulée)			
Carbone %		⩽ 0,18	⩽ 0,18
Manganèse %		0,90 à 1,60	0,90 à 1,60
Silicium %		0,10 à 0,40	0,10 à 0,40
Soufre %	⩽ 0,060	⩽ 0,040	⩽ 0,040
Phosphore %	⩽ 0,060	⩽ 0,040	⩽ 0,040
Essai de traction			
Charge unitaire de rupture en N/mm² (kgf/mm²)	400 à 490 (41 à 50)	440 à 590 (45 à 60)	490 à 610 (50 à 62)
Limite d'élasticité en N/mm² (kgf/mm²)	⩾ 235 (24)	⩾ 315 (32)	⩾ 355 (36)
Allongement en % (sur 5,65 $\sqrt{S}$)	⩾ 22	⩾ 22	⩾ 21

I.2 - Aciers suivant norme Afnor NF A 35-501

Qualité Afnor	E 24-2	E 26-2	E 30-2	E 36-2
Composition chimique (1) (analyse de coulée)				
Carbone %	⩽0,20	⩽0,22	⩽0,20	⩽0,20
Soufre %	⩽0,050	⩽0,050	⩽0,045	⩽0,045
Phosphore %	⩽0,050	⩽0,050	⩽0,045 Acier non effervescent	⩽0,045 Acier non effervescent
Essai de traction (1)				
Charge unitaire de rupture en N/mm² (kgf/mm²)	360 à 440 (37 à 45)	410 à 490 (42 à 50)	460 à 560 (47 à 57)	510 à 610 (52 à 62)
Limite d'élasticité en N/mm² (kgf/mm²)	⩾ 235 (24)	⩾ 255 (26)	⩾ 295 (30)	⩾ 355 (36)
Allongement en % (sur 5,65 $\sqrt{S}$)	⩾ 26	⩾ 23	⩾ 21	⩾ 20

II. TABLEAUX DE CARACTERISTIQUES DETAILLEES

II 1 - Composition chimique

Nuances	Qualités	Mode de désoxydation	C.% max. coulée	C.% max. prod.	P.% max. coulée	P.% max. prod.	S.% max. coulée	S.% max. prod.	N_2% max. (1) coulée	N_2% max. (1) prod.	Éléments d'alliage
E 24 (A 37)	1	—	0,18 (3)	0,22	0,060	0,075	0,050	0,062			
	2	— (2)	0,18 (3)	0,22	0,050	0,062	0,050	0,062	0,007	0,009	
	3	NE	0,16	0,18	0,045	0,050	0,045	0,050			
	4	NE (calmage spéc.)	0,16	0,18	0,040	0,045	0,040	0,045			Al⩾0,02 (5)
E 26 (A 42)	1	—	0,20 (3)	0,25	0,060	0,075	0,050	0,062			
	2	— (2)	0,20 (3)	0,25	0,050	0,062	0,050	0,062	0,007	0,009	
	3	NE	0,18	0,20	0,045	0,050	0,045	0,050			
	4	NE (calmage spéc.)	0,18	0,20	0,040	0,045	0,040	0,045			Al⩾0,02 (5)
E 30 (A 47)	2	NE	0,24	0,27	0,050	0,055	0,050	0,055			
	3	NE	0,20 (4)	0,22	0,045	0,050	0,045	0,050			
	4	NE (calmage spéc.)	0,20 (4)	0,22	0,040	0,045	0,040	0,045			
E 36 (A 52)	2	NE	0,24	0,27	0,050	0,055	0,050	0,055			
	3	NE	0,20 (4)	0,22	0,045	0,050	0,045	0,050			
	4	NE (calmage spéc.)	0,20 (4)	0,22	0,040	0,045	0,040	0,045			Al⩾0,02 (5)

II 3 - Laminés marchands et poutrelles

Nuances	Qualités	R$_e$ N/mm² (kgf/mm²) (2) min. e⩽30	R$_e$ N/mm² (kgf/mm²) (2) min. 30<e⩽100	R N/mm² (kgf/mm²) (3)	A % min. e⩽30	A % min. 30<e⩽100	Pliage à 180° e⩽16	Pliage à 180° 16<e⩽100	Résilience daJ/cm² min. KCU + 20 °C (4) e⩽50	KCV 0 °C (5)	KCV − 20 °C (5)
E 24 (A 37)	1	235 (24)	215 (22)	360-440 (7) (37-45)	26	25	1e	1,5 e	e⩽16 7 / e>16 6	3,5	
	2	235 (24)	215 (22)		28	27	1 e	1,5 e			
	3	235 (24)	215 (22)		28	27	0,5 e	1 e			
	4	235 (24)	215 (22)		29	28	0,5 e	1 e			3,5
E 26 (A 42)	1	255 (26)	235 (24)	410-490 (7) (42-50)	23	22	1,5 e	2 e	e⩽16 7 / e>16 6	3,5	
	2	255 (26)	235 (24)		26	24	1 e	1,5 e			
	3	255 (26)	235 (24)		26	25	0,5 e	1 e			
	4	255 (26)	235 (24)		28	27	0,5 e	1 e			3,5
E 30 (A 47)	2	275 (28)	255 (26)	460-560 (7) (47-57)	23	22	2 e	2,5 e	e⩽16 6 / e>16 5	3,5	
	3	295 (30)	275 (28)		23	22	1,5 e	2 e			
	4	295 (30)	275 (28)		24	23	1,5 e	2 e			5
E 36 (A 52)	2	355 (8) (36)	335 (34)	510-610 (7) (52-62)	22	21	2,5 e	3,5 e	e⩽16 6 / e>16 5	3,5	
	3	355 (8) (36)	335 (34)		22	21	2 e	3 e			
	4	355 (8) (36)	335 (34)		23	22	2 e	3 e			5

II 2 - Tôles et larges plats

Nuances	Qualités	Re N/mm² (kgf/mm²) (1) min. e<3	3⩽e⩽30	30<e⩽50	50<e⩽80	80<e⩽110	110<e⩽150	R N/mm² (kgf/mm²) (2)	A % (l_o = 80 mm) min. e<3
E 24 (A 37)	1	215 (22)	235 (24)	215 (22)	—	—	—	360-440 (8) (37-45)	21
	2	215 (22)	235 (24)	215 (22)	205 (21)	195 (20)	185 (19)		23
	3	215 (22)	235 (24)	215 (22)	205 (21)	195 (20)	185 (19)		23
	4	215 (22)	235 (24)	215 (22)	205 (21)	195 (20)	185 (19)		25
E 26 (A 42)	1	—	255 (26)	235 (24)	—	—	—	410-490 (8) (42-50)	—
	2	235 (24)	255 (26)	235 (24)	225 (23)	215 (22)	205 (21)		20
	3	—	225 (26)	235 (24)	225 (23)	215 (22)	205 (21)		—
	4	235 (24)	255 (26)	235 (24)	225 (23)	215 (22)	205 (21)		23
E 30 (A 47)	2		275 (28)	255 (26)	245 (25)	235 (24)	225 (23)	460-560 (8) (47-57)	
	3		295 (30)	275 (28)	265 (27)	255 (26)	245 (25)		
	4		295 (30)	275 (28)	265 (27)	255 (26)	245 (25)		
E 36 (A 52)	2	325 (33)	355 (9) (36)	335 (34)	335 (34)	315 (32)	305 (31)	510-610 (8) (52-62)	18
	3	—	355 (9) (36)	335 (34)	335 (34)	315 (32)	305 (31)		—
	4	325 (33)	355 (9) (36)	335 (34)	335 (34)	315 (32)	305 (31)		19

Nuances	Qualités	A % (l_o = 5,65$\sqrt{S_o}$) min. 3⩽e⩽30	30<e⩽50	50<e⩽80	80<e⩽110	110<e⩽150	Pliage à 180° (3) e<3	3⩽e⩽16	16<e⩽50	50<e⩽80	Résilience daJ/cm² (4) min. KCU à + 20 °C (5) e⩽16	16<e⩽50	50<e⩽110	KCV 0 °C (6)	KCV − 20 °C (6)
E 24 (A 37)	1	24	23	—	—	—	1 e	1,5 e	2 e	—	—	—	—	—	—
	2	26	25	24	23	20	1 e	1,5 e	2 e	2 e	7	6	5	—	—
	3	26	25	24	23	21	0,5 e	1 e	1,5 e	1,5 e	—	—	—	3,5	—
	4	28	27	26	25	23	0,5 e	1 e	1,5 e	1,5 e	—	—	—	—	3,5
E 26 (A 42)	1	21	20	—	—	—	—	2 e	2,5 e	—	—	—	—	—	—
	2	23	22	21	20	17	1 e	1,5 e	2 e	2 e	7	6	5	—	—
	3	24	23	22	21	19	—	1 e	1,5 e	1,5 e	—	—	—	3,5	—
	4	27	25	24	23	21	0,5 e	1 e	1,5 e	1,5 e	—	—	—	—	3,5 (10)
E 30 (A 47)	2	21	20	19	18	15		2,5 e	3 e	3 e	6	5	4	—	—
	3	21	20	19	18	16		2 e	2,5 e	2,5 e	—	—	—	3,5	—
	4	23	22	21	20	18		2 e	2,5 e	2,5 e	—	—	—	—	5 (10)
E 36 (A 52)	2	20	19	18	17	14	2,5 e	3 e	4 e	4 e	6	5	4	—	—
	3	20	19	18	17	15	—	2,5 e	3,5 e	3,5 e	—	—	—	3,5	—
	4	22	21	20	19	17	2 e	2,5 e	3,5 e	3,5 e	—	—	—	—	5 (10)

II 4 - APTITUDE DES TOLES AU BORDAGE A FROID RAYON DE PLIAGE A FROID

Qualités (*)	Sens du pli	Rayon de pliage minimal admissible (en mm) pour les épaisseurs indiquées ci-après (en mm)															
		Jusqu'à 1	Plus de 1 à 1,5	Plus de 1,5 à 2,5	Plus de 2,5 à 3	Plus de 3 à 4	Plus de 4 à 5	Plus de 5 à 6	Plus de 6 à 7	Plus de 7 à8	Plus de 8 à 10	Plus de 10 à 12	Plus de 12 à 14	Plus de 14 à 16	Plus de 16 à 18	Plus de 18 à 20
E 24-1	T	1,6	2	2,5	3	5	7	9	11	14	18	22	26	30	38	42
E 24-2	L	1,6	2	2,5	3	6	9	11	14	18	22	26	30	34	42	46
E 24-3	T	1	1,6	2,5	3	5	6	8	10	12	16	20	24	28	36	40
24-4	L	1	1,6	2,5	3	6	8	10	12	16	20	24	28	32	40	45
E 26-1	T	2	2,5	3	4	5	9	11	14	18	22	26	30	34	42	47
E 26-2	L	2	2,5	3	4	6	11	13	18	22	26	30	34	38	47	52
E 26-3	T	1,2	2	3	4	5	8	10	12	16	20	24	28	32	40	45
E 26-4	L	1,2	2	3	4	6	10	12	16	20	24	28	32	36	45	50
E 30-2	T	—	—	—	—	7	9	11	14	18	22	26	31	35	44	49
	L					8	11	13	18	22	26	31	35	40	49	57
E 30-3	T	—	—	—	—	6	8	10	12	16	20	24	29	33	42	47
E 30-4	L					7	10	12	16	20	24	29	33	38	47	55
E 36-2	T	2,5	3	4	5	6	9	11	14	18	22	27	32	37	47	52
	L	2,5	3	4	5	8	11	13	18	22	27	32	37	42	52	65
E 36-3	T	1,6	2,5	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30	35	45	50

RAYON INTERIEUR DE PLIAGE DES TOLES D'EPAISSEURS COURANTES EN CONSTRUCTION NAVALE

Qualité \ Epaisseur	e = 2,5 mm	e = 3 mm	e = 4 mm	e = 5 mm	e = 6 mm	e = 7 mm
E 24-2	2,5	3	6	9	11	14
A-BV E-26-2	3	4	6	11	13	18
AH 32 E 30-2 BV et AH 36 E 36-2	4	5	8	11	13	18

II 6 - CARACTERISTIQUES GARANTIES

Nuances	Qualités	Composition chimique sur coulée et produit (1)				Traction			Pliage		Résilience		
		C	P	S	N_2	R_e	R	A	L	T(1)	KCU (1) + 20 °C	KCV 0 °C	KCV − 20 °C
A 33	2		×	×		× ×	× ×	× ×	× ×	× ×			
A 34	1		×	×		×	×	×	×	×			
	2		×	×	×	×	×	×	×	×	×		
E 24 (A 37)	1	×	×	×		×	×	×	×	×			
	2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	3	×	×	×		×	×	×	×	×		×	
	4	×	×	×		×	×	×	×	×			×
E 26 (A 42)	1	×	×	×		×	×	×	×	×			
	2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	3	×	×	×		×	×	×	×	×		×	
	4	×	×	×		×	×	×	×	×			×
E 30 (A 47)	2	×	×	×		×	×	×	×	×	×		
	3	×	×	×		×	×	×	×	×		×	
	4	×	×	×		×	×	×	×	×			×
E 36 (A 52)	2	×	×	×		×	×	×	×	×	×		
	3	×	×	×		×	×	×	×	×		×	
	4	×	×	×		×	×	×	×	×			×

II 5 - TOLES NORMES FRANCAISES ET ETRANGERES

FRANCE NF A 35-501 (1969)	ALLEMAGNE DIN 17 100 (1966)	BELGIQUE NBN 631 (1965)	ITALIE UNI 5 335-64	ROYAUME-UNI BS 4 360 (1966)	ÉTATS-UNIS (ASTM) Correspondance suivant	
					Te	R
E 24 (A 37)-1	St 37-1	AE 22 A (1) ou AE 24 A (2)	Fe 37-A	—	—	—
-2	-2	AE 22 B (1) ou AE 24 B (2)	-B	—	—	A 283 gr C (1967)
-3	—	AE 24 C	-C	—	A 284 gr D (1966) A 573 gr 65 (1967)	A 284 gr B (1966)
-4	-3 N	AE 24 D	-D	—	—	—
E 26 (A 42)-1	St 42-1	AE 24 A (1) ou AE 26 A (2)	Fe 42-A	40 A (1) Ou 43 A (2)	—	—
-2	-2	AE 24 B (1) ou AE 26 B (2)	-B	40 B (1) ou 43 B (2)	A 36 (1967) (3)	A 36 (3) A 283 gr D (1967)
-3	—	AE 26 C	-C	40 C	A 573 gr 70 (1967) A 36 (1967) (3)	A 284 gr C et D (1966) A 573 gr 65 (1967)
-4	-3 N	AE 26 D	-D	40 E	—	—
E 30 (A 47)-2	St 46-2 (2)	—	—	—	—	—
-3	—	—	—	—	—	A 573 gr 70 (1967)
-4	-3 N (2)	—	—	—	—	—
E 36 (A 52)-2	—	AE 36 B	Fe 52-B	50 A	A 440 (1966)	A 440 (1966)
E 36 (A 52)-3	—	AE 36 C	-C	50 C	A 441 (4) (1966)	A 441 (4) (1966)
-4	St 52-3 N	AE 36 D	-D	50 D	—	—

ACIERS DE CONSTRUCTION
Qualités aciers coques
BUREAU VÉRITAS et normes de différents pays

	Aciers coque qualité BV	France NF A 35-501	Allemagne DIN 17 100	Belgique N.B.N. 631	Italie Uni 5.335-64	Royaume-Uni B.S. 4.360	États-Unis ASTM ou AISI
Aciers à résistance normale	A	E 26-2	st 42-2	AE 26 B	Fe 42-B	43 B	A 283 gr D
Aciers haute résistance	AH 36	E 36-2	st 52-2	AE 36 B	Fe 52-B	50 A	A 440

14

PRODUITS SIDERURGIQUES ET TRANSFORMES

PRODUITS SIDERURGIQUES BRUTS

L'acier liquide.

Les lingots d'acier liquide coulés dans des moules de forme prismatique.

Blooms et brames, vus aux chapitres précédents, non corroyés. Ce sont des barres non dégrossies. Section carrée pour les blooms, rectangulaire pour les brames.

DEMI-PRODUITS

● Blooms, billettes, brames, largets, corroyés, c'est-à-dire affinés et allongés par corroyage. Les blooms ont une section carrée ; les billettes carrée ou rectangulaire ; les brames et largets toujours rectangulaire.

Ebauche de profilés : les côtés sont déjà dégrossis.

Dimensions		Masse par mètre P	Section A	Surface de peinture
a	e			
mm	mm	kg	mm²	m²/m
25	4	0,785	100	0,058
	5	0,980	125	0,060
	6	1,18	150	0,062
	8	1,57	200	0,066
	10	1,96	250	0,070
	12	2,35	300	0,074
	14	2.75	350	0,078
30	3	0,707	90	0,066
	4	0,942	120	0,068
	5	1,18	150	0,070
	6	1,41	180	0,072
	7	1,65	210	0,074
	8	1,88	240	0,076
	9	2,12	270	0,078
	10	2,36	300	0,080
	12	2,83	360	0,084
	14	3,20	420	0,088
	15	3,53	450	0,090
	16	3,77	480	0,092
	20	4,71	600	0,100

PLATS D'USAGE GENERAL (SUITE)

Dimensions		Masse par mètre P	Section A	Surface de peinture	Moment d'inertie		Dimensions		Masse par mètre P	Section A	Surface de peinture	Moments d'inertie	
a	e				I_x	I_y	a	e				I_x	I_y
mm	mm	kg	mm²	m²/m	cm⁴	cm⁴	mm	mm	kg	mm²	m²/m	cm⁴	cm⁴
50	5	1,96	250	0,110	5,208	0,052	70	20	11,00	1 400	0,180	57,16	4,666
	6	2,36	300	0,112	6,250	0,090		25	13,74	1 750	0,190	71,45	9,114
	7	2,75	350	0,114	7,292	0,146		30	16,50	2 100	0,200	85,75	15,75
	8	3,14	400	0,116	8,333	0,213	80	5	3,14	400	0,170	21,33	0,083
	10	3,93	500	0,120	10,41	0,416		6	3,77	480	0,172	25,60	0,144
	12	4,71	600	0,124	12,50	0,720		8	5,02	640	0,176	34,13	0,341
	14	5,50	700	0,128	14,58	1,143		10	6,28	800	0,180	42,66	0,666
	15	5,89	750	0,130	15,62	1,406		12	7,54	960	0,184	51,20	1,152
	16	6,28	800	0,132	16,66	1,706		14	8,79	1 120	0,188	59,73	1,829
	20	7,85	1 000	0,140	20,83	3,333		15	9,42	1 200	0,190	64,00	2,250
	25	9,81	1 250	0,150	26,04	6,510		16	10,05	1 280	0,192	68.26	2,730
	30	11,80	1 500	0,160	31,25	11,25		20	12,56	1 600	0,200	85,33	5,333
60	4	1,88	240	0,128	7,200	0,032		25	15,70	2 000	0,210	106,6	10,41
	5	2,36	300	0,130	9,000	0,062		30	18,84	2 400	0,220	128,0	18,00
	6	2,83	360	0,132	10,80	0,108		40	25,10	3 200	0,240	170,6	42,66
	7	3,30	420	0,134	12,60	0,172	90	6	4,24	540	0,192	36,45	0,162
	8	3,77	480	0,136	14,40	0,256		8	5,65	720	0,196	48,60	0,384
	10	4,71	600	0,140	18,00	0,500		10	7,07	900	0,200	60,75	0,750
	12	5,65	720	0,144	21,60	0,864		12	8,48	1 080	0,204	72,90	1,296
	14	6,60	840	0,148	25,20	1,372		14	9,89	1 260	0,208	85,05	2,058
	15	7,07	900	0,150	27,00	1,687		20	14,10	1 800	0,220	121,5	6,000
	16	7,54	960	0,152	28,80	2,048	100	5	3,92	500	0,210	41,66	0,104
	20	9,42	1 200	0,160	36,00	4,000		6	4,71	600	0,212	50,00	0,180
	25	11,80	1 500	0,170	45,00	7,812		8	6,28	800	0,216	66,66	0,426
	30	14,13	1 800	0,180	54,60	13,50		10	7,85	1 000	0,220	83,33	0,833
	40	18,84	2 400	0,200	72,00	32,00		12	9,42	1 200	0,224	100,0	1,440
65	8	4,08	520	0,146	18,30	0,277		14	11,00	1 400	0,228	116,6	2,286
70	5	2,75	350	0,150	14,29	0,072		15	11,80	1 500	0,230	125,0	2,812
	6	3,30	420	0,152	17,15	0,126		16	12,60	1 600	0,232	133,3	3,413
	8	4,40	560	0,156	22,86	0,298		20	15,70	2 000	0,240	166,6	6,666
	10	5,50	700	0,160	28,58	0,583		25	19,60	2 500	0,250	208,3	13,02
	12	6,60	840	0,164	34,30	1,008		30	23,55	3 000	0,260	250,0	22,50
	14	7,70	980	0,168	40,01	1,600		40	31,40	4 000	0,280	333,3	53,33
	15	8,24	1 050	0,170	42,87	1,968	110	8	6,91	880	0,236	88,73	0,469
	16	8,79	1 120	0,172	45,73	2,389		10	8,64	1 100	0,240	110,9	0,916

PLATS D'USAGE GENERAL

Dimensions		Masse par mètre P	Section A	Surface de peinture	Moments d'inertie	
a	e				I_x	I_y
mm	mm	kg	mm²	m²/m	cm⁴	cm⁴
35	4	1,10	140	0,078	1,429	0,019
	5	1,37	175	0,080	1,786	0,036
	6	1,65	210	0,082	2,144	0,063
	7	1,92	245	0,084	2,501	0,100
	8	2,20	280	0,086	2,858	0,149
	10	2,75	350	0,090	3,573	0,292
	12	3,30	420	0,094	4,287	0,504
	14	3,85	490	0,098	5,002	0,800
	15	4,12	525	0,100	5,359	0,984
	16	4,40	560	0,102	5,717	1,195
	20	5,50	700	0,110	7,146	2,333
40	4	1,25	160	0,088	2,133	0,021
	5	1,57	200	0,090	2,666	0,041
	6	1,88	240	0,092	3,200	0,072
	7	2,20	280	0,094	3,733	0,114
	8	2,51	320	0,096	4,266	0,170
	10	3,14	400	0,100	5,333	0,333
	12	3,77	480	0,104	6,400	0,576
	14	4,40	560	0,108	7,466	0,914
	15	4,71	600	0,110	8,000	1,125
	16	5,02	640	0,112	8,533	1,365
	20	6,28	800	0,120	10,660	2,666
	25	7,85	1 000	0,130	13,333	5,208
	30	9,42	1 200	0,140	16,000	9,000
45	5	1,77	225	0,100	3,797	0,046
	6	2,12	270	0,102	4,556	0,081
	7	2,47	315	0,104	5,316	0,129
	8	2,82	360	0,106	6,075	0,192
	10	3,53	450	0,110	7,593	0,375
	12	4,24	540	0,114	9,112	0,648
	14	4,95	630	0,118	10,63	1,029
	15	5,30	675	0,120	11,39	1,265
	16	5,65	720	0,122	12,15	1,536
	20	7,07	900	0,130	15,18	3,000
50	4	1,57	200	0,108	4,166	0,026

PLATS D'USAGE GENERAL (SUITE ET FIN)

Dimensions		Masse par mètre P	Section A	Surface de peinture	Moments d'inertie	
a	e				I_x	I_y
mm	mm	kg	mm²	m²/m	cm⁴	cm⁴
110	12	10,36	1 320	0,244	133,1	1,584
	20	17,30	2 200	0,260	221,8	7,333
	30	25,90	3 300	0,280	332,7	24,75
120	5	4,71	600	0,250	72,00	0,125
	6	5,65	720	0,252	86,40	0,216
	8	7,54	960	0,256	115,2	0,512
	10	9,42	1 200	0,260	144,0	1,000
	12	11,30	1 440	0,264	172,8	1,728
	14	13,20	1 680	0,268	201,6	2,744
	15	14,13	1 800	0,270	216,0	3,375
	16	15,07	1 920	0,272	230,4	4,096
	20	18,84	2 400	0,280	288,0	8,000
	30	28,26	3 600	0,300	432,0	27,00
130	10	10,20	1 300	0,280	183,0	1,083
	12	12,25	1 560	0,284	219,7	1,872
140	6	6,60	840	0,292	137,2	0,252
	8	8,79	1 120	0,296	182,9	0,597
	10	10,99	1 400	0,300	228,6	1,166
	12	13,20	1 680	0,304	274,4	2,016
	15	16,50	2 100	0,310	343,0	3,937
	20	21,98	2 800	0,320	457,3	9,333
150	5	5,89	750	0,310	140,6	0,156
	6	7,07	900	0,312	168,8	0,270
	8	9,42	1 200	0,316	225,0	0,640
	10	11,78	1 500	0,320	281,2	1,250
	12	14,13	1 800	0,324	337,5	2,160
	14	16,48	2 100	0,328	393,7	3,430
	15	17,66	2 250	0,330	421,8	4,218
	30	23,55	3 000	0,340	562,5	10,00
	30	35,32	4 500	0,360	843,7	33,75

PRODUITS FINIS LAMINES A CHAUD

Tôles :

Les produits sont plats, mais les côtés (rives) ne sont pas finis. Ce sont les *« tôles en feuilles »*. Lorsqu'elles sont mises en *« bobines »*, elles sont enroulées et les rives sont aplanies, mais pas parfaitement.

- **Tôles minces** : leur épaisseur est inférieure à 3 mm.
- **Tôles moyennes** : épaisseur de 3 à 5 mm.
- **Tôles épaisses** : épaisseur supérieure à 5 mm.

Feuillards :

Les tôles ont une largeur supérieure à 0,60 m.

Les feuillards ont une largeur inférieure à 0,60. Ils sont enroulés en bobines immédiatement après leur laminage.

Poutrelles :

Ce sont des profils laminés à chaud, à section de I, double T, H, U ou Ω, dont la hauteur est supérieure ou égale à 80 mm. Les Ω sont appelés « Zores ».

Laminés :

Usuellement, on appelle *« profilés »* ces produits laminés à chaud, à profil en méplat (dit : *« plats »*), L, T, petits I et U de moins de 80 mm de haut. **Les très petits laminés en L, T, U et I sont classés en *« profils spéciaux »* :** hauteurs de moins de 30 à 40 mm selon les profils.

Appartiennent à cette catégorie les barres pour béton, fil machine (rond, ovale ou carré) — en bobine, les rails pour voies ferrées et traverses, les palplanches (profils conçus pour s'emboîter les uns dans les autres latéralement).

PRODUITS FINIS LAMINES A FROID

On retrouve des tôles et bandes.

- Des fers plats en acier doux de moins de 5 mm d'épaisseur.
- Des tôles plaquées avec une âme et une surface de deux nuances différentes et complémentaires en fonction d'une utilisation donnée.
- **Tôles revêtues** : tôles galvanisées en zinc ou en plomb, tôles électro-zinguées.

Dans le premier cas, le zinc (ou le plomb) est fondu dans de grands bains où les tôles sont plongées. Dans le second cas, le dépôt est électrolytique dans un bain d'électrolyte.

On trouve plus difficilement des *« profils »* et *« laminés »* galvanisés ou électro-zingués.

Un certain nombre de contrôles sont faits avant livraison. Contrôles dimensionnels de largeur, longueur, épaisseur.

Contrôle d'équerrage ; **contrôles de fabrication** : contrôles continus sur tous les stades de l'élaboration du produit, depuis la coulée jusqu'à la réception de livraison. Ceci ne se fait que sur des commandes d'aciers spéciaux.

En fait, pour les aciers de base, il n'existe de contrôle qu'entre l'aciérie et le dépôt. Les produits sont stockés par qualité, et il est bien rare que la provenance soit garantie. C'est une raison pour laquelle l'amateur comme l'artisan ont peu intérêt à choisir des aciers de qualité supérieure. Cette qualité ne va guère apporter de valeur utile à leur construction, ne va pas garantir l'homogénéité et va en augmenter le coût de fabrication et le prix de vente.

Seuls quelques chantiers produisant en grand nombre peuvent passer commande de tonnages importants dans des formats et des qualités contrôlés. En France, ce ne serait le cas que d'usines comme *Meta* ou *Brument*, dans le cadre de la petite construction navale. La construction navale de Plaisance, par distinction d'avec les constructions navales de commerce ou militaire.

TOLES D'ACIER GALVANISE

Cette présentation de tôles s'est développée d'une façon formidable depuis une quinzaine d'années pour un grand nombre d'emplois : bâtiment, automobile, électroménager, toiture, bardages d'usines (murs), portes, planchers, gaines, chauffage, machines, matériel de transport et agricole, matériel électrique, construction navale.

Il s'agit, en général, de tôles fines ou moyennes (moins de 3 mm et de 3 à 5 mm), présentées roulées en bobines. Le tonnage annuel dépasse 150.000 tonnes.

Dans les constructions navales, on travaille plutôt en tôles électro-zinguées ou pré-peintes, car les peintures ne tiennent que difficilement sur des tôles galvanisées par bain dans du zinc fondu. Ou alors ces tôles nécessitent un griffage par sablage léger.

Dans le cas de tôles galvanisées, électro-zinguées, le dépôt est du zinc métal pur.

Dans le cas de tôles pré-peintes, le dépôt est du zinc à 95 % dans un liant non métallique.

La qualité galvanisée donne un dépôt lisse très dur. La qualité électro-zinguée donne un dépôt aussi épais et dur, mais « fleuré » avec un grain d'accrochage des peintures. La qualité pré-peint est intéressante aussi, assez dure, et possédant un bon grain d'accrochage.

On trouve aussi des tôles phosphatées qui préparent la surface d'acier à une future application de peinture.

Ce que nous retrouverons dans le chapitre sur les revêtements de surface.

TUBES SANS SOUDURES

Ils s'obtiennent par laminage, pressage et perçage à partir de lingots ou de ronds, puis par étirage. Les appareils sur lesquels sont obtenus ces tubes sont des *« Laminoirs à Pas de pélerin »*, des laminoirs à étirer sur manchon, et laminoirs automatiques. Des galets tournent, qui donnent le diamètre extérieur, tandis que des barres ou profils donnent le diamètre intérieur.

Tableaux des dimensions
Formats des tôles
Poids théoriques

DIMENSIONS DES PRODUITS

	800		1 000				1 100			1 200				1 250	1 300				1 400	
	2 000	3 000	2 000	3 000	4 000	6 000	2 100	3 000	4 000	2 200	3 000	4 000	6 000	2 500	2 300	3 000	4 000	6 000	3 000	4 000
3	38	58	48	72	96	144	55	79	106	63	86	115		75	72	94	125		101	134
4	51	77	64	96	128		75	106	141	84	115	154		100	96	125	166		134	179
5	64	96	80	120	160	240	92	132	176	106	144	192	288	125	120	156	208	312	168	224
6	77	115	96	144	192	288	111	158	211	127	173	230	346	156	144	187	250	374	202	269
7			112											175						
8			128	192			148				230			208		250				
10			160	240			185				288			250		312				
12			192											300						
14			224											350						
15			240											375						
16			256											400						
18			288											450						
20			320											500						

T A AILES EGALES ET COINS ARRONDIS

Dimensions							Masse par mètre	Section	Surface de peinture		Dimensions			Caractéristiques rapportées à l'axe neutre									Moment d'inertie de torsion
														Axe xx					Axe yy				
b	h	e	e'	r_1	r_2	r_3	P	A			b	h	e	x_1	x_2	I_x	$\frac{I_x}{v_x}$	i_x	v_y	I_y	$\frac{I_y}{v_y}$	i_y	J
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg	cm^2	m^2/m	m^2/t	mm	mm	mm	cm	cm	cm^4	cm^3	cm	cm	cm^4	cm^3	cm	cm_4
20	20	3	3	3	1,5	1	0,88	1,12	0,08	85,2	20	20	3	0,58	1,42	0,38	0,27	0,58	1,00	0,20	0,20	0,42	0,037
25	25	3	3	3	2	1	1,11	1,41	0,10	79,0	25	25	3	0,74	1,76	0,82	0,46	0,76	1,25	0,41	0,33	0,54	0,059
25	25	3,5	3,5	3,5	2	1	1,29	1,64	0,10	72,9	25	25	3,5	0,73	1,77	0,87	0,49	0,73	1,25	0,43	0,34	0,51	0,074
30	30	4	4	4	2	1	1,77	2,26	0,12	64.5	30	30	4	0,85	2,15	1,72	0,80	0,87	1,50	0,87	0,58	0,62	0,134
35	35	4,5	4,5	4,5	2,5	1	2,33	2,97	0,14	57,1	35	35	4,5	0,99	2,51	3,10	1,23	1,04	1,75	1,57	0,90	0,73	0,223
40	40	5	5	5	2,5	1	2,96	3,77	0,16	51,7	40	40	5	1,12	2,88	5,28	1,84	1,18	2,00	2,58	1,29	0,83	0,350
50	50	6	6	6	3	1,5	4,44	5,66	0,20	43,0	50	50	6	1,39	3,61	12,1	3,36	1,46	2,5	6,06	2,42	1,03	0,757

L CORNIERES A AILES EGALES ET COINS ARRONDIS

Dimensions				Masse par mètre	Section	Surface de peinture		Caractéristiques rapportées à l'axe neutre xx = yy				Dimensions		Caractéristiques rapportées à l'axe neutre							
														Axe zz				Axe vv			
a	e	r	r_1	P	A			d	$I_x = I_y$	$\frac{I_x}{d_x} = \frac{I_y}{d_y}$	$i_x = i_y$	a	e	z_1	I_z	$\frac{I_z}{z_1}$	i_z	v_1	I_v	$\frac{I_v}{v_1}$	i_v
mm	mm	mm	mm	kg	cm^2	m^2/m	m^2/t	cm	cm^4	cm^3	cm	mm	mm	cm	cm^4	cm^3	cm	cm	cm^4	cm^3	cm
20	3	4	2	0,88	1,13	0,077	86,6	0,60	0,39	0,28	0,59	20	3	1,41	0,61	0,43	0,74	0,84	0,16	0,19	0,38
25	3	4	2	1,12	1,43	0,097	86,3	0,72	0,80	0,45	0,75	25	3	1,77	1,26	0,71	0,94	1,02	0,33	0,33	0,48
30	3	5	2,5	1,36	1,74	0,116	84,9	0,84	1,40	0,65	0,90	30	3	2,12	2,22	1,05	1,13	1,18	0,58	0,50	0,58
	4	5	2,5	1,78	2,27		65,0	0,88	1,80	0,85	0,89		4		2,85	1,34	1,12	1,24	0,75	0,61	0,58
35	3	4	2	1,59	2,03	0,136	85,9	0,97	2,32	0,92	1,07	35	3	2,47	3,68	1,49	1,35	1,37	0,96	0,70	0,69
	3,5	4	2	1,84	2,35		74,3	0,99	2,66	1,06	1,06		3,5		4,22	1,70	1,34	1,40	1,10	0,78	0,68
	4	5	2,5	2,10	2,67		64,8	1,00	2,95	1,18	1,05		4		4,68	1,89	1,32	1,42	1,23	0,86	0,68
40	3	5	2,5	1,84	2,34	0,156	85,1	1,08	3,49	1,20	1,22	40	3	2,83	5,53	1,96	1,54	1,53	1,45	0,94	0,79
	4	6	3	2,42	3,08		64,1	1,12	4,47	1,55	1,21		4		7,09	2,51	1,52	1,58	1,86	1,17	0,78
	5	6	3	2,98	3,79		52,2	1,16	5,43	1,91	1,20		5		8,59	3,04	1,51	1,64	2,26	1,38	0,77
45	3	5	2,5	2,07	2,64	0,176	84,9	1,21	5,05	1,53	1,38	45	3	3,18	8,01	2,52	1,74	1,71	2,09	1,22	0,89
	4	6	3	2,73	3,48		64,1	1,24	6,50	2,00	1,37		4		10,30	3,24	1,72	1,76	2,69	1,53	0,88
	4,5	7	3,5	3,06	3,90		56,9	1,26	7,15	2,20	1,35		4,5		11,32	3,56	1,70	1,78	2,97	1,67	0,87
	5	7	3,5	3,38	4,30		51,5	1,28	7,84	2,43	1,35		5		12,42	3,90	1,70	1,81	3,26	1,80	0,87
50	3	5	2,5	2,31	2,94	0,196	84,9	1,33	7,01	1,91	1,54	50	3	3,54	11,12	3,15	1,95	1,88	2,89	1,53	0,99
	4	6	3	3,05	3,88		64,0	1,37	9,05	2,49	1,53		4		14,36	4,06	1,92	1,94	3,74	1,93	0,98
	5	7	3,5	3,77	4,80		51,5	1,40	10,96	3,05	1,51		5		17,38	4,92	1,90	1,99	4,55	2,29	0,97
	6	7	3,5	4,47	5,69		43,4	1,45	12,84	3,61	1,50		6		20,34	5,75	1,89	2,04	5,34	2,61	0,97
	7	7	3,5	5,15	6,56		37,7	1,49	14,61	4,16	1,49		7		23,11	6,54	1,88	2,10	6,11	2,91	0,97
60	4	8	4	3,70	4,71	0,233	63,0	1,60	15,77	3,58	1,83	60	4	4,24	24,97	5,89	2,30	2,26	6,58	2,91	1,18
	5	8	4	4,57	5,82		51,0	1,64	19,37	4,45	1,82		5		30,71	7,24	2,30	2,32	8,03	3,46	1,17
	6	8	4	5,42	6,91		43,0	1,69	22,79	5,29	1,82		6		36,14	8,52	2,29	2,39	9,44	3,96	1,17
	8	8	4	7,09	9,03		32,9	1,77	29,15	6,89	1,80		8		46,15	10,88	2,26	2,50	12,16	4,86	1,16
70	5	9	4,5	5,37	6,84	0,273	50,8	1,88	31,23	6,10	2,14	70	5	4,95	49,50	10,00	2,69	2,66	12,97	4,87	1,38
	6	9	4,5	6,38	8,13		42,7	1,93	36,88	7,27	2,13		6		58,50	11,82	2,68	2,73	15,27	5,60	1,37
	7	9	4,5	7,38	9,40		36,9	1,97	42,30	8,41	2,12		7		67,09	13,55	2,67	2,79	17,51	6,28	1,36

L CORNIERES A AILES INEGALES ET COINS ARRONDIS

Dimensions					Masse par Mètre	Section A	Surface de peinture		Distance du centre de gravité				
a	b	e	r	r_1	P	A			d_1	d_2	z_1	v_2	α tg
mm	mm	mm	mm	mm	kg	cm^2	m^2/m	m^2/t	cm	cm	cm	cm	
30	20	3	4	2	1,12	1,43	0,097	86,6	0,99	0,50	2,05	1,04	0,428
35	20	3,5	4	2	1,43	1,82	0,107	75,2	1,23	0,46	2,16	1,31	0,255
40	25	4	4	2	1,93	2,46	0,135	65,8	1,36	0,62	2,69	1,35	0,381
45	30	4	4	2	2,24	2,86	0,146	65,2	1,48	0,74	3,06	1,58	0,434
		5	4	2	2,76	3,52		53,0	1,52	0,78	3,04	1,57	0,429
50	30	5	5	2,5	2,96	3,78	0,156	52,7	1,73	0,74	3,33	1,65	0,352
60	40	5	6	3	3,76	4,79	0,195	51,9	1,96	0,97	4,10	2,10	0,434
		6	6	3	4,46	5.68		43,8	2,00	1,01	4,08	2,10	0,431
70	50	6	6	3	5,40	6,88	0,246	43,4	2,24	1,25	4,82	2,52	0,497
		7	6	3	6,24	7,95		37,6	2,28	1,29	4,80	2,52	0,495
80	50	7	6	3	6,79	8,65	0,254	37,5	2,69	1,22	5,37	2,79	0,382
80	60	7	8	4	7,36	9,38	0,287	37,3	2,51	1,52	5,55	2,92	0,546
		8	8	4	8,34	10,60		32,9	2,55	1,56	5,53	2,92	0,544
90	70	8	8	4	9,60	12,23	0,313	32,6	2,80	1,81	6,26	3,30	0,592
100	80	9	8	4,5	12,15	15,5	0,351	28,9	3,05	2,10	7.01	3,75	0,626
120	80	10	11	5,5	15,0	19,1	0,391	26,1	3,92	1,95	8,19	4,21	0,435
		12	11	5,5	17,8	22,7		22,0	4,00	2,03	8,15	4,20	0,431
150	90	10	12	6	18,2	23,2	0,469	25,8	5,00	2,04	10,1	5,03	0,361
		11	12	6	19,9	25,3		23,6	5,03	2,07	10,1	5,02	0,359
		12	12	6	21,6	27,5		21,7	5,08	2,12	10,1	5,00	0,358

Dimensions			Caractéristiques rapportées à l'axe neutre									
			Axe xx			Axe yy			Axe zz		Axe vv	
a	b	e	I_x	$\frac{I_x}{d_x}$	i_x	I_y	$\frac{I_y}{d_y}$	i_y	I_z	i_z	$\frac{I_v}{}$	i_v
mm	mm	mm	cm^4	cm^3	cm	cm^4	cm^3	cm	cm^4	cm	cm^4	cm
30	20	3	1,25	0,62	0,93	0,44	0,29	0,55	1,43	1,00	0,26	0,42
35	20	3,5	2,15	0,94	1,09	0,56	0,36	0,56	2,28	1,12	0,43	0,49
40	25	4	3,89	1,47	1,26	1,16	0,62	0,69	4,35	1,33	0,70	0,53
45	30	4	5,77	1,91	1,42	2,05	0,91	0,85	6,63	1,52	1,19	0,65
		5	6,98	2,35	1,41	2,47	1,11	0,84	8,00	1,51	1,45	0,64
50	30	5	9,36	2,86	1,57	2,51	1,11	0,82	10,3	1,65	1,54	0,64
60	40	5	17,2	4,25	1,89	6,11	2,02	1,13	19,8	2,03	3,54	0,86
		6	20,1	5,03	1,88	7,12	2,38	1,12	23,1	2,02	4,15	0,86
70	50	6	33,5	7,04	2,21	14,3	3,81	1,44	39,9	2,41	7,94	1,07
		7	38,3	8,12	2,20	16,2	4,38	1,43	45,5	2,39	9,09	1,07
80	50	7	55,3	10,4	2,54	16,7	4,42	1,39	61,5	2,67	9,96	1,07
80	60	7	59,0	10,7	2,51	28,4	6,34	1,74	72,0	2,77	15,4	1,28
		8	66,3	12,2	2,50	31,8	7,16	1,73	80,8	2,76	17,3	1,27
90	70	8	97,3	15,7	2,82	51,4	9,90	2,05	122	3,16	26,7	1,48
100	80	9	150	22,0	3,11	86,0	14,5	2,35	193	3,53	43,0	1,69
120	80	10	276	34,1	3,80	98,1	16,2	2,26	317	4,07	56,8	1,72
		12	323	40,4	3,77	114	19,1	2,24	371	4.04	66,6	1,71
150	90	10	533	53,3	4,80	146	21,0	2,51	591	5,05	88,2	1,95
		11	580	58,1	4,79	158	22,8	2,50	642	5,04	95,7	1,94
		12	627	63,3	4,77	171	24,8	2,49	695	5,02	104	1,94

TUBES SOUDES

Ils sont calandrés, pressés en continu, puis soudés à partir de feuillards (tôles étroites) de grande longueur ; tôles d'épaisseur moyenne ou forte pour la plupart des tubes soudés, la ligne de soudure est parallèle à l'axe. Parfois, on a recours à une soudure en hélice.

Les gros tubes sont soudés à l'arc électrique submergé ou par induction.

Les tubes minces sont soudés par résistance (soudure électrique) : 50 Hz ou Hf.

On note aussi la soudure à la molette, par recouvrement.

Section de tubes : le rond, l'ovale, le carré, le rectangle et autres polygones. *(Photos C 57 à C 63, croquis C 79 à C 88).*

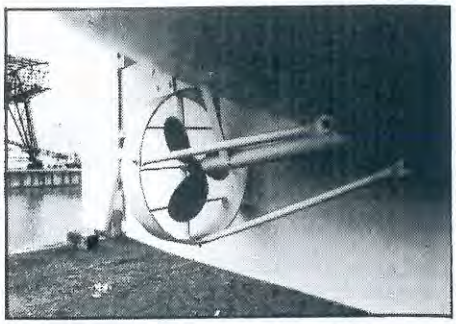
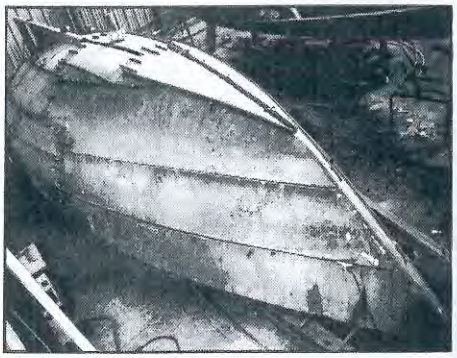


Photo C 57 : ***Cage d'hélice sur voilier pour navigation en mer australe.***

Photo C 58 : ***Construction en formes. Notez les fers de tenue des tôles pour leur soudage. (Photo Form'Océan).***



ACIERS SPECIAUX A HAUTE LIMITE ELASTIQUE
Caractéristiques garanties

Nuances	Qualités	Composition chimique		Caractéristiques à l'ambiante			
		A la coulée	Sur produit (1)	*Re*	*R*	*A*	Pliage
E 355	R	X	X	X	X	X	X
	C	X	X	X	X	X	X
	FP	X	X	X	X	X	X
E 375	R	X	X	X	X	X	X
	C	X	X	X	X	X	X
	FP	X	X	X	X	X	X
E 420	R	X	X	X	X	X	X
	C	X	X	X	X	X	X
	FP	X	X	X	X	X	X
E 460	R	X	X	X	X	X	X
	C	X	X	X	X	X	X
	FP	X	X	X	X	X	X

Caractéristiques de résilience sur entaille en V en décajoules par centimètre carré (*) (**)

Nuances	Qualités	Sens	0 °C	– 10 °C	– 20 °C	– 30 °C	– 40 °C	– 50 °C
E 355	R et C	L	6	5,5	5			
		T	3,5	3	2,5			
	FP	L	7	6,5	6	5,5	5	3,5
		T	4	4	3,5	3	2,5	2
E 375	R et C	L	6	5,5	5			
		T	3,5	3	2,5			
	FP	L	7	6,5	6	5,5	5	3,5
		T	4	4	3,5	3	2,5	2
E 420	R et C	L	6	5,5	5			
		T	3,5	3	2,5			
	FP	L	7	6,5	6	5,5	5	3,5
		T	4	4	3,5	3	2,5	2
E 460	R et C	L	5,5	5	4,5			
		T	3,5	3	2			
	FP	L	6	5,5	5	4,5	4	3,5
		T	4	4	3,5	3	2,5	2

(*) Les caractéristiques de résilience sont garanties dans les deux sens – long (L) et travers (T) – et à toutes les températures, mais la vérification n'est effectuée que dans un seul sens et à une seule température à fixer à la commande. En l'absence d'indication, l'essai est effectué sur éprouvette prélevée dans le sens long et à – 20 °C pour les qualités R et C et à – 50 °C pour les qualités FP.
(**) Les valeurs indiquées correspondent à la moyenne des résultats obtenus sur 3 éprouvettes ; aucun résultat individuel ne doit présenter une valeur inférieure à 75 % de la valeur moyenne.

Composition chimique

Nuances	Type	C % max.		Mn %	Si % max.	P % et S %
		$e \leqslant 35$ mm	$e > 35$ mm			
E 355	I	0,18	0,20	⩽1,50 (3)	0,50	
	II	0,16	0,18	⩽1,50 (3)	0,50	
	III	0,16	0,18	⩽1,50 (3)	0,50	
E 375	I	0,20	0,22	⩽1,50 (3)	0,50	Pour les qualités : R et C $P \leqslant 0{,}035\ \% - S \leqslant 0{,}035\ \%$ FP $P \leqslant 0{,}030\ \% - S \leqslant 0{,}030\ \%$
	II	0,18	0,20	⩽1,50 (3)	0,50	
	III	0,18	0,20	⩽1,50 (3)	0,50	
E 420	I	0,20	0,20	⩽1,60	0,50	
	II	0,22	0,22	⩽1,60	0,55	
E 460	I	0,20		⩽1,70	0,50	
	II	0,18	0,18	⩽1,70	0,40	

(1) Ces éléments d'addition peuvent être utilisés seuls ou en combinaison lorsqu'ils figurent dans la définition de l'acier et dans les limites de composition indiquées.
(2) Lorsque l'acier ne comporte comme élément d'alliage que du Nb ou du V seuls ou en combinaison, la teneur en éléments résiduels est limitée à Cr ⩽ 0,20 % - Ni ⩽ 0,30 % - Cu ⩽ 0,25 % et Mo ⩽ 0,10 %.
(3) Sauf imposition contraire à la commande, la valeur maximale de 1,60 % sera admise.
(4) Pour les épaisseurs supérieures à 50 mm la teneur maximale en V est portée à 0,15 %.
(5) Éventuellement sur accord à la commande.
(6) Cr + Ni + Mo + Cu ⩽ 0,80 %.
(7) Cr + Mo + Cu ⩽ 0,70 %.

Caractéristiques mécaniques à température ambiante

Nuances	R_e N/mm² (kgf/mm²), min.					R N/mm² (kgf/mm²) (1)		
	$e \leqslant 16$	$16 < e \leqslant 35$	$35 < e \leqslant 50$	$50 < e \leqslant 70$	$70 < e \leqslant 100$	$e \leqslant 50$	$50 < e \leqslant 70$	$70 < e \leqslant 100$
E 355	355 (36)	355 (36) (2)	335 (34)	325 (33)	305 (31)	510-610 (52,62)	490-610 (50-62)	480-600 (49-61)
E 375	375 (38)	365 (37)	355 (36)			530-630 (54-64)		
E 420	420 (43)	410 (42)	400 (41)			550-670 (56-68)		
E 460	460 (47)	450 (46)	440 (45)			590-710 (60-72)		

(1) Sauf indication contraire à la commande et à condition que la valeur minimale de limite d'élasticité soit respectée il est admis une tolérance en moins de 20 N/mm² (2 kgf/mm²) sur la limite inférieure de la fourchette de résistance.
(2) Pour les épaisseurs supérieures à 25 mm, mais inférieures à 35 mm, la valeur de limite d'élasticité est 345 N/mm² (35 kgf/mm²).

Nuances	Caractéristiques particulières		
	$Rt_{0,002}$ (1)	KCV – 20 °C (2)	KCV – 50 °C (2)
E 355	X (3)	X X	X
E 375	X (3)	X X	X
E 420	X (3)	X X	X
E 460	X (3)	X X	X

(1) La composition chimique sur produit et la valeur de $Rt_{0,002}$ ne sont contrôlées que si la commande le spécifie.
(2) Les caractéristiques de résilience sont garanties dans le sens long et le sens travers et à toutes les températures indiquées au tableau IV, mais la vérification n'est effectuée que dans un seul sens et à une seule température à fixer à la commande. En l'absence d'indication l'essai est effectué sur éprouvette prélevée dans le sens long et à – 20 °C pour les qualités R et C et – 50 °C pour la qualité FP.
(3) Après accord à la commande.

Nuances	A % ($L_o = 5{,}65\sqrt{S_o}$) min.			Pliage		
	$e \leqslant 50$	$50 < e \leqslant 70$	$70 < e \leqslant 100$	$e \leqslant 50$	$50 < e \leqslant 70$	$70 < e \leqslant 100$
E 355	22	22	21	3 e	3 e	3,5 e
E 375	21			3 e		
E 420	19			3,5 e		
E 460	17			4 e		

15

ACIERS SPECIAUX A HAUTE LIMITE ELASTIQUE

Voici l'opinion de J. FRICAUD,

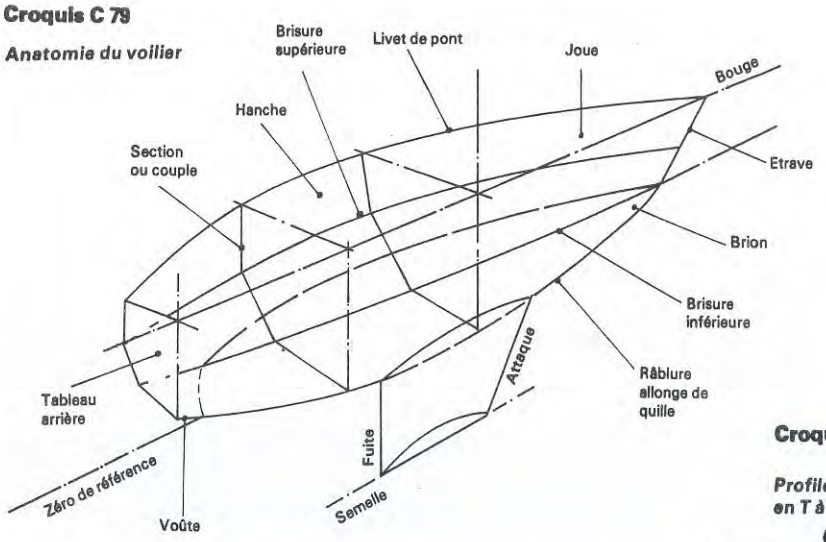
« De très nombreuses nuances d'aciers spéciaux généralement réservées à d'autres usages spécifiques sont vendues pour la construction navale de plaisance. Quelques expériences tentées pour la plupart par des amateurs mal informés sur les problèmes inhérents à ces applications, se sont révélées désastreuses pour les raisons suivantes :

● Certains ont cru bon d'utiliser des aciers faiblement alliés à faible pourcentage de cuivre (étudiés pour être utilisés à l'état nu en atmosphère rurale ou industrielle) sur lesquels se forme une réelle patine protectrice dans ces atmosphères, mais qui se dégradent en revanche assez rapidement en atmosphère marine (corrosions par piqûres et crevasses).

● Certaines nuances d'aciers spéciaux ne sont élaborées que sous forme de tôles, or si l'on veut construire avec de telles nuances, on devra se souvenir que sur un bateau de plaisance, les pièces de quille, les étraves, les étambots, les entrées et sorties d'eau de mer, les pièces de gouvernail, les pièces de ligne d'arbre,

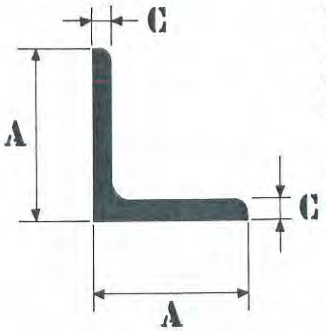
Croquis C 79

Anatomie du voilier



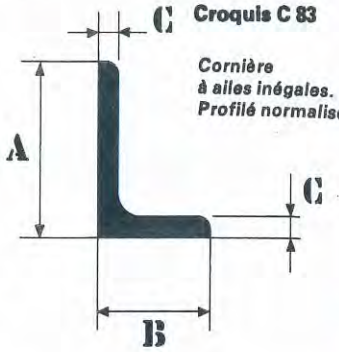
Croquis C 82

Cornière à ailes égales. Profilé normalisé.



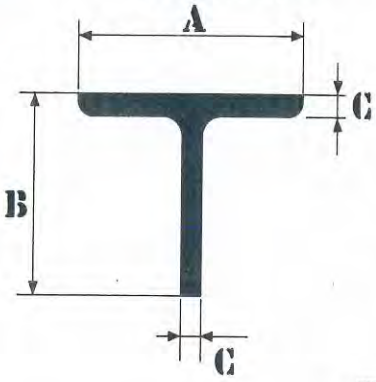
Croquis C 83

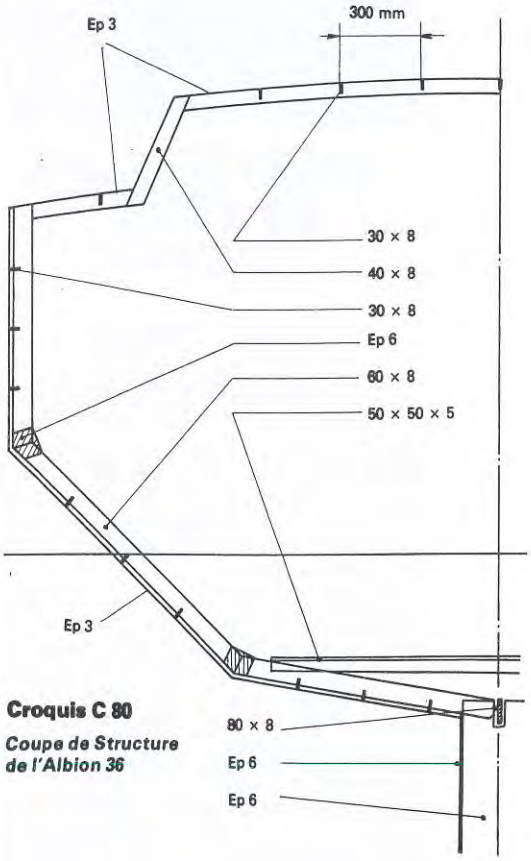
Cornière à ailes inégales. Profilé normalisé



Croquis C 84

Profilé normalisé en T à ailes inégales



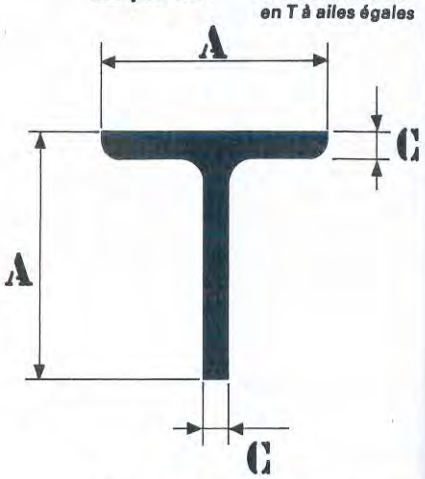


Croquis C 80

Coupe de Structure de l'Albion 36

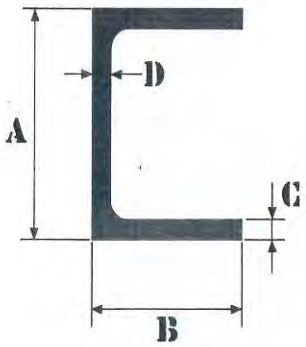
Croquis C 85

Profilé normalisé en T à ailes égales

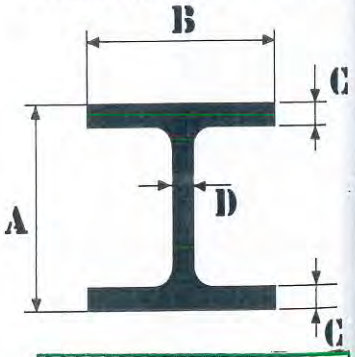


Croquis C 86

Profilé en U, normalisé

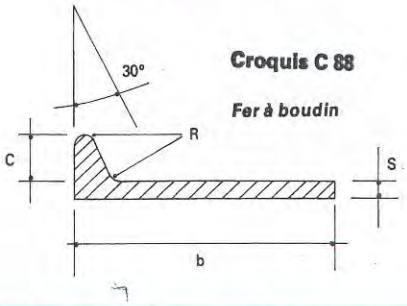


Croquis C 87 *Profilé normalisé en I*



Croquis C 88

Fer à boudin



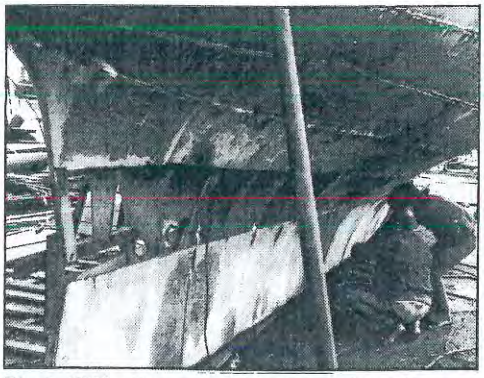


Photo C 60 : *Retour de galbord et renforts de quille sur une construction de type hollandais.*

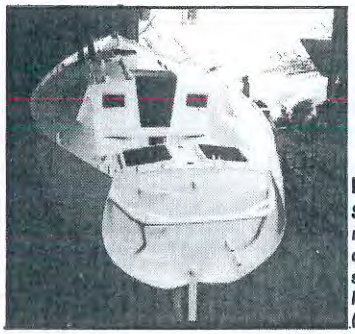


Photo C 61 :
Sur cet « Oxygène », notez la jupe, la queue de malet, et surtout la sortie des mises à l'air libre contre le roof. (Form'Océan)

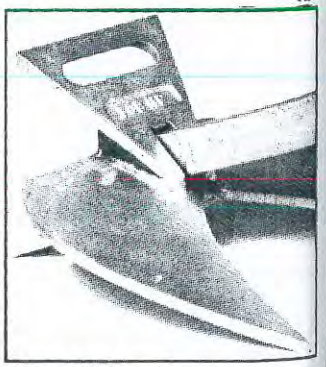


Photo C 63 :
Ancre forgée « FOB »

les dépôts de soudure, etc. ne pourront pas toujours être réalisés à partir de tôles, donc avec des aciers *strictement* identiques. Si, on doit faire appel à ces aciers spéciaux (pour des raisons de poids par exemple), il est alors indispensable (du fait des différents potentiels de surface obtenus) d'utiliser un système de protection dont l'élaboration vise à rétablir au mieux, de par sa conception, sa conductibilité, etc., l'équipotentialité des surfaces (voir document : « *Les peintures au zinc silicaté inorganiques* » » par CP. Edouard ou tout autre document sur ce problème) ; la protection cathodique devra également faire l'objet de soins les plus attentifs, ces deux précautions étant *primordiales* si l'on ne veut pas s'exposer à des risques d'électrolyse.

● L'expérience a prouvé que les aciers doux courants correctement protégés sont ceux qui se comportent le mieux en eau de mer en cas de ragage entraînant une insuffisance de protection ; leur soudabilité est excellente puisque ce sont ceux utilisés partout, par tous les industriels, les serruriers, les chantiers d'entretien, etc. De plus, on les trouve absolument sous toutes les formes ; tôles, plats, cornières, tés, ronds, tubes épais, électrodes, etc. ».

16

LA CONCEPTION DU BATEAU EN ACIER

GENERALITES

Cet ouvrage même est justifié par une donnée fondamentale, un bateau en acier, voilier ou vedette à moteur se conçoit sur la base des spécificités de ce matériau.

Chaque matériau a ses particularités.

Elles tiennent à ses caractéristiques mécaniques, à son prix au kilo, à sa mise en œuvre, à ses qualités de longévité, de réparabilité.

Chaque bateau a un programme à réaliser, que ce soit la régate côtière, la course transocéanique ou le vagabondage lointain en famille.

Il appartient à l'architecte et au constructeur de rapprocher les nécessités du programme des spécificités de chaque matériau pour définir celui dans lequel le bateau gagnera à être conçu et construit.

Pourtant, de cela, l'étude des particularités d'un matériau, ici, l'acier, permettra de définir les types de bateaux auxquels il conviendra le mieux, et ceux pour la conception desquels il faudra l'éviter.

Les chapitres suivants développent certaines des plus importantes particularités de l'acier. Certaines autres spécificités sont développées dans les grands chapitres de cet ouvrage. Je pense par exemple à l'entretien « *préventif* » et quotidien de l'acier qu'on trouve développé dans les chapitres sur la corrosion.

Particularités de l'acier

● **Sa** « *solidité* » : l'acier permettra de réaliser des coques très solides, résistantes en traction, en compression, en flexion, aux chocs, aux ragages, tant aux températures courantes qu'aux basses températures.

● **Sa malléabilité** : l'acier est aisé à mettre en formes et conviendra autant pour le bateau à bouchains vifs que pour la carène en formes.

● **Sa soudabilité** : assez facile à souder, l'acier ne demandera ni une main-d'œuvre trop qualifiée, ni trop de temps d'exécution des soudures, ni trop de travail de surfaçage après le soudage. De plus, et c'est le cas de la plupart des métaux, l'acier soudé confèrera au bateau une homogénéité très favorable à ses caractéristiques physiques et à son étanchéité.

● **Sa résistance à la corrosion** : l'acier sera électropositif dans un grand nombre de cas par rapport à d'autres alliages. Sa perte de matière est très répartie en surface, et n'affecte pas l'épaisseur du bordé ou du pont avant des dizaines d'années de négligences coupables !

● **L'acier doit être** revêtu ou peint et protégé contre les usures par chocs ou frottements.

● **L'acier se corrode** d'une façon lente mais continue lorsqu'il est mis à nu ou mal protégé et baigné dans de l'eau de mer. La circulation de l'eau devra être facilitée par tous les moyens sur le pont et dans les fonds vers des points bas.

● **Une surface** d'acier ne doit jamais, pour la raison précédente, être plane et horizontale.

● **Il faut éviter** les angles et les formes torturées et anguleuses, surtout sur le pont.

● **Une coque en acier** sera plus lourde que dans beaucoup d'autres matériaux, dans une proportion de 10 à 25 % à programme identique et taille égale.

● **L'incidence de poids** de cette coque pontée plus lourde sur le déplacement total d'un bateau varie de 3 à 12 % selon la taille. D'autant plus grande que le bateau est petit.

● **L'acier est un matériau** répandu dans le monde. On le trouve partout où il y a des pêcheurs, des industries, des militaires. Donc dans tous les pays, y compris les plus petites îles.

● **L'acier se travaillant** facilement et avec un matériel peu coûteux et peu fragile, il s'ensuit qu'il est aisément réparable partout dans le monde.

De cet ensemble de caractères, on déduira que le bateau qui gagnera le plus à être construit en acier sera celui qui en utilisera le mieux le plus grand nombre.

Par exemple, un bateau confortable (poids) ; économique (prix au kilo, transformation facile et peu coûteuse) ; pour voyager loin (réparabilité) ; dans toutes circonstances (solidité) ; dans lequel l'équipage habitera en permanence (entretien). Ce bateau de toute façon devra emporter de fortes charges, pour que la vie y soit agréable, eau, fuel, nourriture, vêtements, équipement, matériel de plongée... Si bien que le poids intrinsèque du matériau comptera peu dans le total.

C'est un peu le portrait-type du bateau en acier. Mais notez que la facilité de mise en œuvre peut faire choisir ce matériau pour des unités qui ne voyageront pas forcément très loin ; la réparabilité trouve aussi son terrain d'application dans nos eaux ; l'économie de construction du gros œuvre pourra aussi être intéressante pour certains qui y seront sensibles.

En fait, par groupes de deux ou trois comme isolément ou comme rassemblés globalement, ces caractères que je me garde bien de définir comme qualités ou défauts tracent non pas le portrait d'un type de bateau mais de plusieurs, comme cet ouvrage le montre sans cesse par ses exemples de constructions, ses dessins et ses photos.

L'ACIER, LES PROBLEMES DE POIDS ET LES PROGRAMMES DE NAVIGATION

Les futurs acquéreurs d'un bateau en acier se posent légitimement le problème du poids de leur bateau. Lorsqu'ils lisent les publicités, ils s'étonnent parfois de la différence des poids annoncés pour certaines unités en acier de type pourtant récent, par rapport à des bateaux de même taille mais en polyester.

Le poids d'un bateau dépend :

● de la densité du matériau,

● de la résistance recherchée pour la structure et le bordé,

● des surfaces de bordé et pont, et de la longueur des profilés de structure,

● de la charge utile.

Si on analyse ces paramètres, on comprend mieux le phénomène du déplacement des bateaux en acier.

DENSITE DU MATERIAU

Avec le cupronickel de densité 8,9, l'acier est le matériau le plus dense utilisé pour construire des coques. Sa densité varie de 7,8 à 8 selon les alliages. Une coque pontée en acier a donc toute chance d'être lourde. En général, on conçoit qu'en aluminium par rapport à l'acier, on pourrait alléger la coque de 50 %. Mais les réserves de vieillissement de ces matériaux dû au phénomène de la fatigue par cycles de contraintes ou d'efforts répétés limitent le gain de poids à 35 % environ selon la taille. Par exem-

ple, une coque pontée en acier de 12 mètres pèse de 4 à 5 tonnes. En aluminium, elle pèsera de 2,5 à 3,5 tonnes. Je parle de bateaux de croisière et non pas de course où on admet qu'un bateau « *vieillisse* » en deux saisons.

LA RESISTANCE

Il y a deux types de bateaux en acier. Les unités de plus de 10 mètres, qui de toute évidence sont en très grande majorité faites pour partir loin. Les unités de moins de 9 mètres dont on peut penser qu'elles resteront près de nos côtes. Entre 9 et 10 mètres, le programme est moins clairement défini mais l'idée d'aller loin et surtout de vivre sur son bateau une grande partie de l'année, est très présente.

Le bateau est de toute façon un investissement. Le bateau d'acier s'adressant souvent à des personnes ayant choisi l'économie, représente encore plus un investissement de beaucoup des biens du propriétaire, biens qu'il veut voir « *flotter* » le plus longtemps possible. Aussi, l'architecte conscient de tout cela, ne doit-il rien négliger pour la solidité du bateau en acier qui devra être capable de naviguer n'importe où et n'importe quand. Ce qui n'est pas le cas de tous les bateaux. On sait que maintenant les chantiers « *ciblent* » leur clientèle. Pour le polyester, on sait que le client-type utilise son bateau sur de petits trajets, trois semaines en juillet ou en août et un week-end par-ci, par-là. On échantillonne ce type de bateau en conséquence de ladite cible. En acier aussi, si je puis dire !

Si bien que par la densité et l'échantillonnage de sa structure, le bateau en acier a là encore toute chance d'être lourd. C'est-à-dire qu'architectes et constructeurs ne se permettent pas d'alléger autant que le matériau le permettrait avec les techniques modernes de formage et de soudage.

SURFACES ET STRUCTURES

Je viens de le dire, l'échantillonnage est maintenu très haut au-dessus du seuil techniquement possible.

Mais il se trouve aussi, et je le disais plus haut, que le bateau en acier est souvent une maison où l'on veut vivre longtemps et à l'aise. On y désire le confort, la hauteur debout et des aménagements amples. Cela implique une grande hauteur intérieure et une bonne largeur. Donc un pourtour important, ce qui implique des surfaces de tôles et des longueurs de profilés de structure importantes. Et des poids encore une fois imposants.

CHARGE UTILE

Il découle du programme du bateau, aller loin en famille, longtemps et confortablement, que les besoins de charge utile sont importants, et là encore signifiant du poids ! Un bateau côtier n'aura que peu d'eau à transporter, de la nourriture pour le week-end, un petit moteur et un peu de fuel. Le bateau de tour du monde ou de croisières transocéaniques devra transporter beaucoup d'eau pour la cuisine et la toilette, du fuel pour le moteur et peut-être un autre carburant pour le groupe électrogène ou le chauffage, une instrumentation imposante, une lourde bibliothèque, des vivres pour plusieurs semaines, y compris des réserves de survie, et une foule d'affaires dont on a besoin au fil des jours et des saisons.

PROGRAMME, MATERIAU ET FORMES

En résumé de ce qui précède, le portrait du bateau en acier est celui d'un bateau fait dans un matériau dense, largement échantillonné et structuré ; un bateau ample, haut et large ; un bateau très chargé pour y vivre longtemps.

Comment voulez-vous que ce bateau puisse être léger ? Oui, il faut le dire bien fort, un bateau en acier sera plutôt lourd, voire très lourd. Mais peut-on faire autrement ?

GAINS DE POIDS SUR LE MATERIAU

A formes égales et charges égales, à programme identique et durée de vie à bord de même valeur, on peut alléger un bateau en le construisant dans un matériau moins dense. Compte tenu de la résistance qui doit être égale, le gain ne sera pas celui du rapport des densités. Ce rapport est corrigé des nécessités de surépaisseurs pour cause de risque de rupture par fatigue ou d'électrolyse.

Un bateau de 11 mètres en acier aura une coque pontée de 3.500 kg environ pour le cas d'Exploration (11,35 m) contre 2.400 kg en alliage d'aluminium.

Le gain est de 1.100 kg, soit environ le tiers. Le déplacement en charge d'Exploration est de 8.800 kg dans sa version à quille. En aluminium, il serait de 7.700 kg soit un gain du huitième seulement.

Plus on descend vers les petites tailles, moins la charge utile étant grande, plus le poids de la coque pontée est grand en pourcentage et plus le gain de poids sur la coque pontée est relativement grand.

Plus on monte en taille, plus la charge utile est un poids important. Les gains sur la coque pontée sont un pourcentage du total de plus en plus faible ; par contre, plus les impératifs de solidité sont grands.

DEUX RECHERCHES SUR LE POIDS

Lorsque je lui ai demandé de me parler de son expérience des grandes vedettes à moteur en acier et en aluminium, *Otto Ranchi* me raconta cette anecdote que vous retrouvez in-extenso en lisant son témoignage dans ce Hors-Série.

Concevant un bateau à passagers de 60 mètres de long, devant naviguer à 30 nœuds, le cabinet *Maierform* auquel appartient *Otto*, arriva à la conclusion que le gain de poids serait de 5 à 10 % si l'aluminium était préféré à l'acier. Otto ajoute que les suréchantillonnages exigés par les sociétés de classification pour les bateaux en aluminium sont la cause de cette faible différence.

La fatigabilité des alliages légers sous diverses contraintes répétées et sous tension en présence de chlorures, même à température ambiante, impose ces surépaisseurs. Le gain initial de l'aluminium par rapport à l'acier à échantillonnages simplement proportionnels aux caractéristiques mécaniques semblerait être de 40 %. Dans la pratique, il semble que cela doive être différent.

La seconde anecdote vient des travaux de recherche préalables à la conception du nouveau bateau d'expéditions polaires de *Janusz Kurbiel, Vagabond 3*. Ce bateau de plus de 20 mètres devant être très structuré pour « aborder les glaces sans douceur » et pour supporter des charges utiles de l'ordre de 200 à 250 % du poids de la coque, il est apparu qu'un gain prévisible et optant pour l'aluminium au lieu de l'acier, serait de 10 % sur la coque pontée et de moins de 3 % sur le déplacement en charge. Donc, il ne faut pas se laisser abuser par les différences de densités entre les métaux et transposer ces différences brutes dans le gain sur le déplacement d'un bateau ! L'étude qui conclurait ainsi serait simpliste et incomplète.

GAIN DE POIDS SUR LES FORMES

On peut gagner du poids en jouant sur les formes d'un bateau en maintenant ses autres paramètres inchangés, densité, charge utile, programme. En réduisant sa largeur, on gagne de la surface sur la coque et sur le pont. En simplifiant le pont aussi. En diminuant la largeur et surtout le franc-bord, on gagne du poids sur la coque et sa structure. Mais à ce rythme, on finit par avoir un bateau étroit et bas sur l'eau, invivable, quoi !

GAIN DE POIDS SUR LA CHARGE ET LE PROGRAMME

En réduisant le rayon d'action du bateau, on limite les besoins en eau, fuel et nourriture. On allège le bateau ! On l'allège aussi en réduisant avec l'espace habitable, les nombres de postes de vie, des couchettes, et de fait, le nombre des personnes que l'on peut embarquer. Et on réduit le poids !

CONCLUSION

On voit clairement que le fait que le bateau soit en acier, est à la fois indépendant et lié au fait que ce soit un bateau de grande croisière.

Si le bateau est destiné à la grande croisière, il devra être logeable, donc volumineux, donc présenter de larges surfaces de bordé et de pont. S'il doit être solide, il devra être bien « *charpenté* ». Si on doit bien y vivre, et pendant longtemps, il lui faudra admettre une charge utile imposante. Ce bateau sera vaste, solide et très chargé. Il sera lourd ! C'est une vérité absolue ! S'il est en acier, il sera plus lourd d'environ 10 %. C'est tout ! Bateaux de croisière et poids importants sont deux choses liées de façon inévitable.

Bateaux de grande croisière et solidité aussi. Faire un bateau de croisière à déplacement léger est une utopie. Comme vouloir gagner du poids sur une voiture de type familial ou break en lui faisant des portières et un capot en une matière très légère. Il n'empêche que cette voiture sera chargée de par sa vocation même ! Partir loin et longtemps impose d'y vivre, d'y dormir, d'y manger et boire, de s'y laver et d'y être en sécurité. Tant que ce sera vrai, le bateau de croisière sera « *lourd* ». C'est le confort ou le bagne.

NOTA SUR LE TERME « LEGER »

Actuellement, il est unanimement admis qu'il n'existe plus de bateau de déplacement réellement lourd. Un *Colin Archer* de 10 mètres pouvait peser jusqu'à 30 tonnes ! Dont 8 à 10 tonnes de lest. Maintenant certains voiliers de 10,20 mètres pèsent 6 tonnes dont moins d'une tonne et demie de lest. Certes, on trouve des déplacements de 2 à 3 tonnes pour des bateaux de course de 10 mètres ! Mais il faut replacer les choses à leur vraie valeur. 30 tonnes, c'était lourd. 6 tonnes, c'est léger ! et de 2 à 3 tonnes, c'est de l'hyper léger ! Or, les programmes de Colin Archer et de certains voiliers acier sont comparables. C'est cela la part du modernisme ! Le reste du gain pour arriver à 2.000 à 3.000 kg est la part du sacrifice et de la course, donc d'un programme d'utilisation différent. De plus, le comportement du bateau léger, c'est-à-dire soulageant bien contre la vague ou poussé par elle, tient non pas au poids proprement dit, mais exactement au rapport du volume immergé au volume émergé. Celui-ci est une réserve de flottabilité proportionnel à celui-ci dans un rapport propre à chaque école d'architecte et qui définit ce qu'on appelle le « *comportement* ».

Pour la croisière, on recherche un amorti en souplesse du tangage et de la gîte, très progressif et régulier, pour le confort.

Bateau	Romanée	Vulcain 5	Révolution
Matériau	Aluminium	Acier	Alu course
Longueur	10,20	10,20	11,20
Largeur	3,50	3,60	3,90
Poids du lest	1.800	1.400	2.700
Poids en ordre de marche	4.950	4.850	5.500
Poids en charge	5.950	6.080	—

NOTE SUR L'ENFONCEMENT

Ce problème d'architecture navale a besoin d'un petit éclaircissement. Je l'illustrerai par une anecdote.

L'enfoncement d'un bateau dépend par rapport à son niveau initial, des poids qu'on y met en regard de ceux qui étaient prévus par l'architecte. Puis, à chaque adjonction d'équipement ou de charge, l'enfoncement se fait en fonction de la surface de flottaison. On s'aperçoit qu'un bateau peut être plus chargé que ce qu'avait prévu le concepteur, et ceci sans danger mais au détriment de la vitesse (réduction de la vitesse et tendance augmentée à gîter), à condition que l'enfoncement soit équilibré. Le bateau doit s'enfoncer sans changement d'assiette, ni sur le nez car il pourrait enfourner, ni sur l'arrière car son comportement serait « *mou* ».

Si l'enfoncement est horizontal, peu de danger !

L'ACIER ET LES PETITES POINTURES

Si leur voix s'est maintenant faite moins claironnante, il y a quelques années, vers la fin des années 70, certains « *experts* » affirmaient du haut de leur ignorance que l'acier n'était pas fait pour les petits bateaux. Certains fixaient 11 ou 12 mètres comme seuil, d'autres 10 mètres. En dessous des 10 mètres fatidiques, l'acier était un matériau trop lourd pour permettre une conception saine ! Tout simplement.

D'après ces experts, l'acier était l'explication de la lourdeur des bateaux réalisés dans ce matériau. Eh bien moi, je crois qu'ils étaient plus soucieux de faire de la publicité au polyester ou à l'aluminium que d'analyser objectivement les possibilités.

POIDS ET PROGRAMME D'UNE PETITE UNITE EN ACIER

C'est vrai qu'il existe de longues listes de très bons « *petits* » *bateaux en contre-plaqué, polyester ou aluminium, sans oublier le bois moulé.* Mais pour ceux à qui l'acier est un matériau familier ou sympathique, ne resterait-il que les yeux pour pleurer ? De nos jours, on s'accorde à reconnaître que pour la course, la régate, mieux vaut un bateau léger et bien toilé, que lourd. Par contre, cette idée est unanimement reconnue comme étant utopique lorsqu'on conçoit un bateau de croisière. Voyez ce chapitre sur la conception du bateau en acier. L'acier est économique à l'achat. Il coûte, au kg, cinq à six fois moins que l'inox ; quatre à cinq fois moins que le polyester ; deux à trois fois moins que le contre-plaqué.

La coque pontée d'un petit bateau en acier, disons de huit mètres par exemple, destiné à la croisière rapide mais confortable, va peser environ 1.600 kg en acier ; 900 kg en aluminium, pareil en polyester et en contre-plaqué. Cette différence de 700 kg est un maximum car je compare le « *8 mètres Acier* » qui est une unité de croisière très spacieuse, large, avec 1,85 m de hauteur debout, à d'autres bateaux moins larges, moins volumineux et sans aucun doute moins conçus pour le large. Mais, ensuite à équipement identique à quelques mètres carrés de voilure près, on trouvera des poids de bateaux terminés, de 3.000 kg en acier (avec moteur fixe), 2.800 kg en polyester (*2.800 Dufour*), 2.500 kg en contre-plaqué (*Dingo*), 2.400 kg en aluminium (Kraken). Donc, des poids comparables pro-

LISTE DE POIDS DE BATEAUX DE CROISIERE EN ACIER DOUX

Bateau	Long.	Larg.	Poids coque pontée kg	Poids lège quillard	Poids en charge	Lest quillard	Enfoncement par tonne cm
C	9,55	3,35	2.500	4.660	5.880	1.350	6,5
V	10,20	3,60	2.500	4.850	6.080	1.400	6,5
A	10,45	3,70	3.400	6.520	7.955	2.150	6
E.....	11,35	3,95	3.700	7.700	8.800	3.000	5,3
I.....	12	4,15	4.500	8.500	10.200	3.500	5
L.....	14	4,60	6.600	12.000	15.000	4.500	3

La collection des n° Hors Série 1 à 15 est disponible à la revue (sauf le n° 2). Abonnez-vous. France : une économie de plus de 30 % sur vos Hors Série à venir.

venant soit des différences de poids de lest, soit des équipements des poids de moteur entre autres choses.

Les poids en pleine charge sont plus difficiles à indiquer parce que les vendeurs de bateaux en polyester n'affichent en général que des poids incomplets.

Du côté du budget, un petit bateau en acier sera un peu moins cher qu'un bateau en contre-plaqué et en polyester, le plus cher étant l'aluminium. Mais ce n'est pas dans cette différence de prix que les constructeurs de petits bateaux en acier ont trouvé la raison de leur choix. C'est plutôt dans la mise en œuvre qui leur est familière. Si l'acier est le moins cher des matériaux bruts au kg, une fois que l'on compte la peinture, la différence est moins grande.

A rapport poids-mètres carrés de voilure identiques, il est certain qu'un bateau léger coûte le moins cher. Mais ce n'est pas ainsi que dans la réalité les choses se passent.

Par exemple, un bateau de 8 mètres et 2.000 kg aurait 35 m² de voilure. Un bateau en acier de 3.000 kg devrait alors avoir 35 × 150 % soit 52,5 m² pour théoriquement aller aussi vite. Mais, dans le bateau de 2.000 kg, pour ne peser que ce poids-là, on aura dû se passer de réserves d'eau, de moteur fixe donc de réservoir de fuel, de confort, de possibilités de charge utile, sans doute aussi de hauteur debout. Ce sera un bateau de régate ou tout au moins un bateau réservé à la sortie côtière du week-end. Ou alors, il aura fallu le construire en fibres dites « *exotiques* » et il aura coûté fort cher.

Si on compare deux bateaux de programmes identiques, ils pèseront le même poids. Dans les petites tailles, l'acier reste plus lourd car le poids de la coque pontée représente une forte part de l'ensemble. Vous verrez dans le chapitre de l'étude des poids qu'il en va autrement dans les grandes tailles. Au crédit du bateau en acier, il reste la solidité et la facilité de réparation autonome.

Aussi, le petit bateau en acier va-t-il convenir à celui qui désire aller loin ou pendant longtemps ; voire vivre à bord plusieurs années en vagabondage « *solitaire* », fréquente des contrées peu habitées et mal balisées. La solidité de son bateau sera alors un atout de valeur. La possibilité de mettre en œuvre le matériau facilement et par lui-même, sera aussi un atout important. **Voilà resserré le portrait du bateau en acier de petite taille** : économique (construction amateur ou achat de coque pontée) solide, réparable, pour aller partout.

LA COURSE

Par contre, de nos jours le bateau en acier ne sera plus concurrentiel en course. Je viens, en 1982 de concevoir un petit bateau de sport en acier pour un client aquitain, mais c'est une exception et il ne s'agit-là que de régate locale. La mode des bateaux à l'australienne, sur le modèle desquels sont conçus les bateaux de course depuis les années 70 a rendu désuet tous les autres types de voiliers de régate. Il faut maintenant opter pour les bois moulés imprégnés, les fibres exotiques et les sandwiches. Même l'aluminium est trop lourd dans les petites tailles ! Cependant le palmarès des « *petits* » bateaux en acier en surprendra plus d'un !

Le *Listang* était un quarter tonner en acier. Il gagna la Quarter Ton Cup à Breskens en 1969 avec deux places de 1re, une de 4e, une de 3e. Le troisième concurrent en 1969, était de prototype en aluminium de *J.M. Finot, Ecume de Mer*. En 1970, Ecume se vengeait et gagnait. Mais deux Listang finissent 4e et 5e.

Le Listang victorieux de 1969, était construit en tôle de 2 mm, en formes, sur une structure transversale espacée d'une trentaine de cm. Il avait un pont à teugue (Ecume aussi d'ailleurs), un gréement 3/4, un mât très reculé, une quille fine et profonde, à bulle, avec un trimmer, et deux dérives sabres, une à l'avant, l'autre à l'arrière, dans la voûte. Je pense que *Listang* fut le plus petit bateau en acier victorieux dans des régates internationales. Voyez ces poids dans le tableau des caractéristiques comparées.

En 1965 *Rabbit* sur plan *Carter* avait raté de peu la victoire à la One Ton Cup de 1965 alors que son rating était très inférieur à celui des autres one tonners. Il gagnait le Fastnet en 1965. C'était une coque en formes construite en acier au chantier *Maas* en Hollande, classe 3 du Rorc, avec un très faible tirant d'eau.

Peu après, *Carter* dessinait la série des *Tina*, développement de Rabbit et qui gagnait la Ton Cup en 1966 et 1967. *Tina* avait une coque en acier, un barrotage en acier et un pont en contre-plaqué. A défaut d'être un petit bateau, Tina, court à la flottaison, n'en n'était pas un grand et son palmarès est particulièrement glorieux.

Tina mesurait 11,25 m avec 8,13 m à la flottaison, une largeur de 3,29 m, un poids de 6.500 kg dont 2.000 kg de lest et 79 m² de voilure. Finalement, il est très proche de nos bateaux modernes de 10,20 m de long, 8,20 m à la flottaison, 3,60 m de large, 6.500 kg de poids dont 1.400 kg de lest et 75 m² de voilure.

Par son volume, comme par ses caractéristiques, c'est un bateau voisin des 9,55 m de long. Cela reste encore ce qu'on appelle un « *petit bateau* ». Tina était construit aux chantiers *F. Maas*. Coque en acier de 4 mm, 3 mm sur certaines unités, pont en contre-plaqué plastifié de 15 mm.

De nos jours, de tels bateaux restent des unités de croisière rapides et c'est ainsi que l'on peut juger beaucoup de voiliers modernes réalisés en acier, capables à charge égale de rivaliser avec des bateaux de même type et de même programme réalisés dans d'autres matériaux.

Par ailleurs, je reviens sur le problème des poids des bateaux en acier. Je réserve ce chapitre aux petits bateaux et à leurs particularités.

Pour concevoir un petit bateau, on peut faire varier trois types de paramètres : les formes de la coque, le tirant d'eau et le poids du lest, la surface de voilure et la hauteur du mât.

Sur un petit monocoque à quille, ces trois paramètres sont là. On peut moderniser le bateau avec des formes très travaillées dans le sens de la stabilité dite « *de forme* » ce qui permet de réduire le tirant d'eau et le poids de lest, tout en toilant bien. Sur un petit monocoque à dérive, le tirant d'eau est très réduit, voire égal au creux de la carène. On ne peut pas réduire le poids du lest. On ne peut donc faire varier que les formes du bateau pour assurer la stabilité. La voilure intervient peu dans le chapitre de la sécurité car le chavirage n'est guère qu'un phénomène de fuite à la cape par mer très grosse et à sec de toile. Sauf pour des bateaux « *extrêmes* » pouvant chavirer sous leur voilure. Il s'agit alors de bateaux de course et le matériau n'est pas en cause. Pendant le Fastnet 1979, beaucoup de bateaux chavirés sont restés à l'envers plusieurs minutes avant d'être redressés par une vague plus pentue que les autres. Ils n'étaient pas en acier. C'est dû à la conception actuelle des bateaux répondant aux critères de la jauge I.O.R.

Un petit multicoque ne me paraît pas pouvoir être conçu en acier sans de grandes tares le mettant en danger. Un multicoque doit une grande part de sa stabilité au fait que, très léger et démarrant instantanément à la risée, il transforme l'énergie qui le ferait gîter et peut-être chavirer en une vitesse vers l'avant. Plus lourd, le multicoque ne démarre pas aussi vite : plus profond dans l'eau, il ne glisse pas sous le vent et l'énergie emmagasinée se traduit en gîte, voire en chavirage. C'est très clair. On m'a déjà demandé de concevoir de petits catamarans en acier. L'étude a montré que ce n'était pas raisonnable. Ça l'est encore moins pour un trimaran ou un prao. Je qualifie même de très dangereuse, voire criminelle cette option.

Pendant longtemps, la course fut la seule arme des constructeurs pour faire vendre leurs bateaux. On disait : tel bateau a été conçu à partir de la carène du vainqueur de telle ou telle course, achetez-le, il va vite.

Il est certain que la taille des entreprises qui construisent en acier ne leur permet pas ce genre d'investissement. Rien d'étonnant donc qu'on parle beaucoup moins de cette production relativement « *marginale* » par rapport à la production totale des bateaux en polyester. Nous, c'est loin de France qu'on voit comment naviguent nos bateaux ! les malentendus de la jauge qui favorise

l'ultra léger et l'ultra vide, et des silences de certains, sont la cause du peu d'intérêt que marquent les Français pour les petits bateaux en acier. Il en va tout autrement en Hollande.

LA TRADITION HOLLANDAISE

En Hollande, la tradition a maintenu une construction en acier très vivace et moderne. Pour ce qui nous concerne ici, les petits bateaux, on rencontre des vedettes fluviales comme des voiliers, en général à simple ou double bouchain à partir de 7,50 m, en acier. Ces bateaux sont construits sur des gabarits en tôles minces, 2,5 et 3 mm, pré-peintes ou brutes (puis sablées).

Notez par exemple les productions suivantes :

- *Scheeps en Jachtwerf Kempers (à Alphen)* fabrique des vedettes fluviales et fifties de 9 mètres.
- *R. Moedt* Jachtwerf construit, depuis 55 ans, des unités à bouchains dont le « *Sneekermeer* » de 8 mètres et le « *Noordsvaarder* » de 9,20 mètres.
- *Rajo Watersport* a construit et le fait encore, de petites unités en formes, en acier, de type Colin Archer et autres modèles traditionnels.
- *Van Rijnsoever* construit de petits bateaux à fonds ronds ou plats, de tradition hollandaise, à dérives latérales.
- *J.M. Valentijn* et fils travaille aussi dans le style hollandais, et construit de petites unités en acier *Corten*.
- *G. Van Wijk* et fils est un des constructeurs les plus réputés. Il construit les Wibo de 7,50 mètres, 8,20 mètres, 9,30 mètres, 9,45 mètres et d'autres plus grands, à bouchains.

Voyez ce tableau des caractéristiques de petits bateaux en acier attestant de la possibilité de réaliser dans ce matériau des unités tout à fait comparables à ce qu'on fait selon d'autres procédés.

TABLEAU COMPARATIF

Bateau	Matériau	Long de coque	Long FL	Bau	Poids en ordre de marche	Déplacement en charge	Tirant d'eau	Poids total du lest
Alpha 21	P	6,50	5,70	2,54	1.350	—	1,20	500
Jouet 22	P	6,51	5,50	2,37	1.260	1.660	1,38	565
Cabernet	C.-P.	6,98	6,40	2,66	2.125	2.685	0,79/1,65	957
Wibo 740	A	7,40	6,30	2,25	2.200	—	1,05	—
Ovni 25	A.G.4	7,60	6,60	2,65	1.700	—	1,50	700
Listang	A	7,64	—	2,50	1.300	—	1,20	260
Centaur	P	7,92	7,00	2,58	3.040	3.700	1,06	1.270
Sneekermeer	A	8,00	—	2,45	—	—	—	1.000
Flot 18 Alu	A.G.4	8,10	6,40	2,90	1.800	—	1,25	700
Flot 18 Acier	A	8,10	6,10	2,90	1.920	—	1,25	700
Dutch Dandy	A	8,00	6,10	2,32	—	—	1,20	885
Wibo 82	A	8,20	6,40	2,74	—	3.800	1,00	1.200
8 m Acier	A	8,20	6,10	3,00	3.000	3.789	1,20	1.000
Vanguard 1	A	8,40	—	2,70	3.500	—	1,10	—
Armagnac	C.-P.	8,55	6,65	2,80	2.500	—	1,37	1.200
Aloa 29	P	8,72	7,05	3,11	3.430	4.000	1,77	1.300
Dufour 20	P	8,94	7,75	2,88	3.380	4.010	1,64	1.200
Kliever MK 2	A	8,80	7,00	2,93	4.200	—	1,35	1.700
Chatam	A	9,55	7,80	3,35	4.600	5.800	1,40	1.350
Zoufri	A.G.4	9,05	7,75	3,22	3.930	4.710	0,64/1,98	1.500
Noordvaarder	A	9,20	—	2,65	—	—	1,10	1.500
Dufour 31	P	9,45	7,40	3,20	4.500	5.050	1,82	1.650
Quasar dériveur	A.G.4	9,65	7,60	3,34	4.170	5.210	0,67/2,00	2.300
Quasar quillard	A	9,65	7,60	3,34	4.400	5.300	1,50	1.300
Gladiateur	P	10,00	8,30	3,38	5.250	6.120	1,94	2.150
Romanée	A.G.4	10,20	8,25	3,50	4.950	5.950	1,91	1.800
Rabbit	A	10,21	7,35	3,07	4.500	—	1,42	1.700
Tina	A	11,25	8,13	3,29	6.500	—	1,70	2.000

LA COURBE DE STABILITE D'UN DÉRIVEUR EN ACIER

DÉRIVEUR ET ACIER COMPATIBILITE

Un dériveur en acier est une option intéressante pour la croisière lointaine. Bien que plus lourd que les alliages d'aluminium, l'acier ne grève pas le devis de poids. Par exemple, une coque pontée de 12 mètres (Ile Disko ou autre) pèsera en acier 4.000 kg environ et en aluminium 2.700 à 3.000 kg. Pour des poids de lest et d'équipements équivalents ainsi que des charges d'eau, fuel, nourriture et équipage égales, cela nous placerait entre 10.500 kg pour l'acier et 9 à 9.500 kg pour l'aluminium ce qui fait une différence négligeable. La raison pour laquelle certains bateaux en aluminium sont annoncés avec des déplacements ou des poids en charge moindres, est que ces bateaux sont plutôt conçus pour les moyennes randonnées ne prévoyant pas que le bateau, littéralement transformé en maison flottante, contiennent des quantités impressionnantes de bouquins et divers gadgets qui serviront ou pas, mais qui pèsent lourd. Or, chacun sait que même si un bateau est léger quand on l'achète, peu à peu, on l'enfonce à force de réserves diverses.

Le bateau qui aura été prévu « *lourd* » sera dans ses lignes d'eau normales. La plupart des architectes de renom reconnaissent maintenant qu'il est totalement illusoire de prévoir un déplacement léger pour la vie à bord. Tôt ou tard sa légèreté n'est plus qu'un lointain souvenir !

Par ailleurs, les dériveurs en acier auront l'avantage de leur solidité, pourront se poser sans souci et seront réparables dans n'importe quelle île où on trouvera toujours un militaire ou un pêcheur, donc un poste à souder, même rudimentaire !

Que ce soit par leurs poids, par leur solidité, les possibilités de réparation, les dériveurs en acier sont une option tout à fait viable pour qui doit se servir abondamment de son bateau et y travaillera lui-même à fabriquer les aménagements et poser l'équipement. Par contre, sans être une très grande contrainte comme des ignorants le clament d'autant plus fort que leurs arguments sont faibles, l'entretien de l'acier rend ce matériau inapte à satisfaire celui qui ne bénéficie que d'un mois de vacances par an et habite loin du mouillage de son bateau.

Dériveur d'accord, mais de quel type ?

L'ENTRETIEN DU PUITS

Le bateau posé à plat sur son fond, à sec, le puits du dériveur est inaccessible par le dessous. Il est accessible par le dessus mais la dérive doit pouvoir alors être sortie dans le bateau, hors du puits. On comprend dès lors qu'un dériveur gagne à avoir un puits de dérive tel qu'on puisse le carèner à flot, dérive descendue.

Le puits de dérive doit alors dépasser de 15 à 20 cm au-dessus de la flottaison. On ouvre le dessus du puits, on abaisse la dérive. La lumière diffuse suffit à voir ce qu'on fait. On peut gratter les parois du puits avec des spatules en bois ou métalliques. Normalement, il y a peu d'herbes, de coquillages ou d'animacules fixés contre les parois car la lumière dont ils ont besoin y est trop faible. Des brossages deux fois par an suffiront. Autre raison pour ne pas ouvrir de trappes transparentes dans le puits car on y fait entrer la lumière et avec elle les coquillages !

Un grand nettoyage annuel du puits et de la dérive avec démontage ne sera pas une contrainte trop grande si les conditions ci-dessus sont respectées.

Le carènage de fond du bateau n'est pas non plus difficile. Tout d'abord, les tôles épaisses se corroderont peu, d'autant plus que leur immersion permanente réduit le contact avec l'oxygène plus abondant dans l'air que dans l'eau. Leur épaisseur laisse des dizaines d'années avant que la corrosion pose un problème vital. Pour repeindre le fond et le puits, si le traitement de départ a été correct et non bâclé, il suffira tous les 12 à 18 mois de sortir le bateau de l'eau en l'échouant sur un slip en pierres, posé sur des IPN, des bastaings ou des troncs d'arbres. Il suffira de 50 cm sous le milieu du bateau pour pouvoir bien traiter les fonds. La semelle plate dépasse rarement 0,80 mètre de chaque côté de l'axe. Distance accessible à bout de bras. L'avant et l'arrière se relevant, seul le centre, sur une surface voisine de 5 m² sera plus difficile et nécessitera l'opération décrite plus haut. Le reste sera traité en posant le bateau directement sur son fond, sur une pente propre, en pierres. Ce qu'on a toute chance de rencontrer où que ce soit en 12 à 18 mois de balades !

Je disais plus haut que le puits doit remonter au-dessus de la flottaison sur toute la longueur de son ouverture. Il est tout aussi impératif que le puits soit d'une largeur intérieure telle qu'on y puisse glisser le bras pour le nettoyage ou la peinture. 12 à 15 cm de largeur sont alors nécessaires. Si bien que des bateaux à puits étroit et n'ouvrant pas au-dessus de la flottaison seront très difficiles à entretenir. Voire d'un entretien impossible.

Hélas, c'est le cas de beaucoup de dériveurs à embryon de quille ! Cette option est valable pour les bateaux en aluminium ; polyester et contre-plaqué naviguant le long de nos côtes car ils peuvent bénéficier de nos installations portuaires. Mais elle est peu ou pas valable telle quelle pour le voyage lointain et de longue durée.

LA STABILITE, CALCUL STATIQUE

Vous trouverez dans ce Hors-Série quelques courbes de stabilité de bateaux en acier ou en aluminium.

Ces courbes montrent d'ailleurs que la conception des formes du bateau a plus d'importance que le matériau ou les poids !

Pour lire ces courbes, voici des indications simples.

Ces courbes sont calculées. Elles ne sont pas mesurées expérimentalement et il semble que l'expérimentation montre qu'elles donnent un résultat par défaut. C'est-à-dire que dans l'eau, le bateau réagissant à la viscosité de l'eau et aux mouvements de l'eau prise dans ses volumes (cockpit, pavois...), se comporterait mieux que ne le laisse entendre la courbe.

Ce sera donc une marge de sécurité rassurante.

Ces courbes sont une image statique de la stabilité. Elles sont simplement un élément de comparaison entre les bateaux car, calculées de la même façon par tous ceux qui le font honnêtement, elles sont un moyen d'apprécier la stabilité, plutôt relativement les bateaux les uns par rapport aux autres, qu'en valeur absolue car le bateau, s'il chavire ne le fera pas en eau plate et dans les conditions figées du calcul. Curieusement, et je vous l'expose ci-après, la dynamique est très différente de la statique, parfois bien meilleure, parfois effrayante.

La courbe se découpe en deux zones. La première, de 0° à l'angle de chavirage est la visualisation de la quantité d'énergie nécessaire pour retourner le bateau. La seconde, du chavirage à 180°, où le bateau revient à l'endroit est la visualisation de la quantité d'énergie nécessaire à le redresser.

Par conséquent, une première lecture de la courbe, d'un simple coup d'œil, montre que si la première zone est beaucoup plus grande que la seconde, le bateau sera très stable à l'endroit et instable à l'envers. La seconde zone devant être aussi petite que possible.

Il faudra beaucoup d'énergie pour mettre le bateau sur le toit et peu pour le ramener à l'endroit.

Par contre, si les deux zones sont de surfaces égales, cela signifiera qu'il faut autant d'énergie pour le remettre à l'endroit qu'il en a fallu pour le chavirer. C'est mauvais signe. On trouve ce cas de figure angoissant pour les multicoques et pour les quillards relevables quille remontée.

La hauteur apparente de la courbe par rapport au zéro n'est fonction que de l'échelle choisie. Il faudra en tenir peu compte. L'angle de chavirage par contre est une valeur objective dans la mesure de ce calcul statique.

Un bateau atteint divers angles de gîte selon les situations. Par exemple, pour une unité classique de 11 mètres :

- Un équipier qui embarque sur le passavant fait gîter le bateau de 2° à 8°.
- Un bateau correctement toilé dans une petite brise gîte de 10° à 15°.
- Un bateau un peu trop voilé dans une brise soutenue gîtera de 20° à 30°.
- Sur un bateau surtoilé au près dans la brise forte gîtera, livet dans l'eau, à 45°.
- Couché sous spi, le bateau « met ses barres de flèche dans l'eau » entre 75° et 90°, compte tenu des vagues et de l'effet de perspective.
- L'inertie d'une claque de vent qui surprend le bateau, toute toile bordée, peut l'emmener à 90° alors que la gîte réelle serait de 60° à 75°.
- A sec de toile dans une mer très grosse pendant ou après un fort coup de vent, le bateau « roulé » par les vagues peut atteindre des gîtes de 90° à 120°.

Dès lors, on comprend que le bateau est en toute sécurité.

- S'il prend un coup de gîte soudain à 60°, car le bras de levier est à son maximum à cet angle de gîte qui paraît pourtant sentir le danger, pas confortable, mais encore sûr !
- S'il est couché à 90° car la réserve de bras de levier est encore grande sur la plupart des bateaux.

Par contre, on se rend compte :

- qu'un bateau qui par sa conception a son angle de chavirage à 90° ou 95° ne sera plus en sécurité dans les cas où il peut être couché sous spi ou voiles bordées car l'inertie d'un coup de gîte à 75° peut lui faire atteindre son angle de chavirage.
- qu'un autre bateau dont l'angle de chavirage est 115° est en danger à sec de toile car les angles de gîte atteints (120°) peuvent le faire chavirer alors qu'une unité qui ne chavire qu'à 135° reste en cette situation en « toute sécurité » à défaut d'être dans des conditions confortables.

Il faut totalement séparer ce qu'on appelle sécurité du point de vue psychique et qui est fonction du « *confort* », de ce que techniquement, on peut objectivement considérer comme stabilité et sécurité. Un coup de gîte à 110° sur un bateau qui chavire à 135° ne peut pas être considéré comme ayant atteint la cote d'insécurité si le pont est bien étanche et que l'équipement ne casse pas. Par contre, psychiquement parlant, ce n'est plus la grosse sensation de béatitude !

LA STABILITE DYNAMIQUE

Lorsqu'on fait gîter le bateau dans le calcul de sa courbe de stabilité statique, cela ne tient pas compte :

- des inerties emmagasinées par le mouvement et qui tendent à accroître la gîte ;
- des glissements latéraux qui sont une transformation en déplacement latéral d'une partie de l'énergie de chavirage et donc diminuent l'angle de gîte d'autant plus qu'ils sont amples. Plus le bateau glisse sur le côté, ou plus il avance, moins il gîte ! Vous l'avez déjà vu lorsqu'au sortir d'un virement, vous plantez votre bateau, il accuse un coup de gîte. Dès que vous lui donnez de la vitesse, bien que le vent apparent augmente, le bateau se redresse. De même, à l'empannage, si le bateau se bloque latéralement en s'appuyant sur sa dérive, il prend un coup de gîte. Si la gîte n'est pas trop grande, le bateau réaccélère. Mais si vous relevez la dérive avant l'empannage, le bateau ne prend pas un coup de gîte mais part dans une glissade qui, par fort vent, lui évite le chavirage. Je parlais là de l'empannage à la bouée sous le vent d'une régate de dériveurs légers. C'est vrai aussi pour les dériveurs habitables ;
- des variations d'assiette car avec la gîte, le bateau se met plus ou moins sur le nez ;

● d'un pivotement possible du bateau lors d'un chavirage qui pourrait placer le bateau à l'envers le nez face aux vagues et retarder son redressement car les vagues ne prendraient pas le côté du bateau pour le remettre à l'endroit ;

● de l'effet d'ancre flottante d'un mât ou de voiles arrachés qui peuvent avoir le rôle décrit ci-dessus ;

● d'entrées d'eau qui créent dans la coque à l'endroit ou retournée une carène liquide. Cette masse se met en mouvements et peut tour à tour être en phase ou en opposition de phase avec les vagues et accélérer ou retarder le redressement ou le chavirage dans de grandes proportions.

Lorsqu'un bateau est chaviré, il faut lui souhaiter de se mettre en travers des vagues pour être redressé le plus vite possible. Bien conçu, un bateau n'a besoin que d'une pente de 15° à 20° pour être remis à l'endroit. Un bateau muni d'un roof proéminent aura plus de chances qu'un autre de se remettre à l'endroit. Les dériveurs gagnent à être aménagés dans les versions à roof et à « *salon de pont* ». Par contre, il leur est déconseillé d'être « *flush-deck* » et surtout si le bouge du pont est faible. De même, un dériveur gagne à être haut de franc-bord et pas trop large. La hauteur du franc-bord retarde le chavirage. La largeur excessive et le pont plat retardent le redressement.

De ces simples données objectives sur les effets dynamiques, on déduit :

● qu'un bateau doit présenter le moins de tirant d'eau possible pour être agréable et sûr dans la très grosse mer, à la cape, à sec de toile, qu'il soit quillard ou dériveur ;

● qu'il **faut** dans un dériveur relever la dérive pour éviter les coups de gîte à la cape ou sous tourmentin. Comme ce n'est pas le vent mais la grosseur et la vitesse des vagues qui chavirent les bateaux, on n'a guère à parler de surface de voilure dans ce chapitre sur la sécurité. Relever la dérive n'est pas une possibilité, mais une nécessité démontrée par l'expérience !

● pour pouvoir bénéficier de cette sécurité accrue en relevant la dérive, il faut que cette opération ne modifie pas la hauteur du centre de gravité. Une dérive lourde remonte le centre de gravité. Au lieu de chavirer à 130°, le bateau peut chavirer alors à 115°. Donc il suffira d'un coup de gîte moins grand pour le chavirer. Autrement dit, les risques de chavirage augmentent. C'est une régression, alors qu'on escomptait une amélioration !

Inutile de dire qu'un bateau à quille relevable ne va pas pouvoir relever sa quille dans la brise. Quille relevée, le bateau chavirerait à 90° ou 95°. Cet angle risque non seulement d'être atteint à sec de toile en fuite, mais sous voilure dans certains cas, au sortir de l'abri d'une côte, sous le vent d'une île.

C'est ce faisceau de raisons qui me fait pencher pour reconnaître la sécurité supérieure des dériveurs dont le poids de lest est dans les fonds et dont la dérive est aussi légère que sa solidité le permet ! En fait, c'était le bon sens. Un dériveur trouve son intérêt dans la séparation de la fonction plan anti-dérive de la fonction lest. Plus on sépare les deux fonctions, plus on gagne en sécurité et en confort dans les conditions extrêmes. Un dériveur est alors carrément plus sûr qu'un autre bateau chavirant au même angle de gîte et qui ne peut pas escamoter son plan de dérive.

Depuis les moments d'hésitation vers 1975, les expériences des *Vulcain*, *Trismus*, *Via*, *Gianduja* et autres dériveurs dont le lest est dans les fonds ont prouvé la valeur de leur sécurité. Pour ma part, *l'Albion Pessoa*, *le Vagabond 2*, *l'Exploration* ont montré les mêmes réactions de sécurité dans le gros temps.

En 1980, *Vagabond 2* a tenu la cape à sec de toile, sous conservateur d'allure le long du 70e parallèle, sur plusieurs centaines de milles pendant huit jours de tempêtes consécutives. Jamais le bateau n'a risqué le chavirage et sa stabilité de route était parfaite, compte tenu des conditions et des glissades. Sa dérive était relevée.

Un dériveur en acier est tout à fait concevable et sûr à condition d'éviter les options peu compatibles soit avec la sécurité en règle générale, ou avec les nécessités du matériau et de son entretien.

CONSTRUCTION DANS D'AUTRES MATERIAUX D'UN BATEAU CONÇU POUR L'ACIER... ET RECIPROQUEMENT

Lorsque je vois qu'un même bateau est proposé à la construction en contreplaqué, acier, polyester et aluminium, cela me laisse parfois rêveur.

Qu'un bateau puisse être construit dans deux métaux, passe encore, si un ajustement des poids est prévu par le lest et les charges, mais là déjà, il y a un non-sens. Il n'y a pas deux matériaux qui, possédant les mêmes caractéristiques et se travaillant de la même façon, soient intervertibles. Ceux qui se rapprochent le mieux de cet idéal seraient l'acier doux, l'acier à haute performance, l'acier inoxydable et le cupronickel.

Mais là déjà, un échantillonnage d'acier doux sera excessif pour l'acier performant, l'inox et le cupro. **De deux choses l'une** : ou le premier échantillonnage est insuffisant, ou les seconds sont excessifs et il y a là un gaspillage d'argent inévitable !

Ou alors, les échantillonnages des seconds sont diminués en fonction de la différence des caractéristiques mécaniques, mais alors le bateau se trouvera peut-être allégé... sauf si le bateau en acier doux était un peu ou beaucoup sous-estimé, dans son volume de carène par rapport à ses poids.

C'est ainsi que la conversion d'un bateau de l'acier vers l'aluminium ou l'inverse appelle des réflexions.

BATEAU EN ACIER CONVERTI A L'ALUMINIUM

Pour qu'un bateau en acier soit convertible à la construction en aluminium, il faut qu'il réponde aux critères suivants :

● **Ne pas avoir des formes trop éloignées du développement géométrique**, à moins qu'il ne s'agisse de bateaux en formes.

En effet, la différence d'élasticité des deux métaux, mais surtout la différence d'épaisseur des tôles, fait qu'une forme aisée à obtenir en acier pourra être très difficile à réaliser en aluminium qui se comporte très différemment dans les vrillages de l'étrave par exemple.

Là où l'acier ne va que modérément bomber, l'alu pourra gonfler exagérément ou casser.

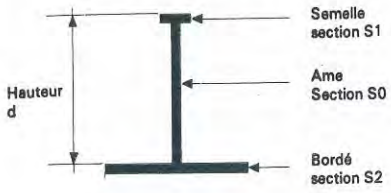
Une tôle d'acier contrainte à épouser des formes au-delà de son développement naturel puis soudée va admettre la contrainte par des modifications dimensionnelles stables par la suite.

Au contraire, le contre-plaqué n'admettra pas cette contrainte très au-delà de son développement naturel, et tendra à se décoller des éléments de structure. L'aluminium, lui, est soudé. Ce joint solide et homogène n'a aucune chance de lâcher s'il est bien fait. La tension imposée à la tôle mènera le métal à travailler dans sa matière et par sa nature cristalline. Il se fendillera et pourra même se fissurer jusqu'à la rupture. Et ceci d'autant plus vite et plus brutalement que la contrainte est grande et qu'elle concerne une zone de corrosion possible dite « *sous-tension* », notamment à la frontière air-eau, près de la flottaison.

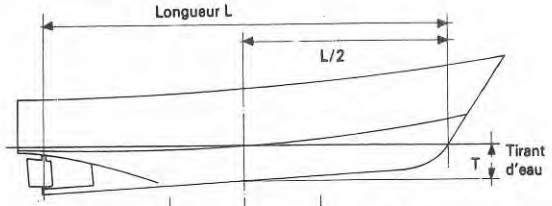
● **Avoir un devis de poids compatible avec le gain de poids réalisé sur la coque pontée.** Ce gain de poids n'est d'ailleurs pas ce qu'on imagine, car eu égard au programme initial du bateau conçu en acier, c'est-à-dire les navigations lointaines et la grande croisière, les échantillonnages d'aluminium devront être fortement calculés. Voyez ce qu'en disent les techniciens de l'aluminium dans la note sur les calculs d'échantillonnages de l'aluminium.

Le gain de poids sur la coque pontée sera de l'ordre de 20 à 25 % sur les bateaux de 10 à 15 mètres et pourra même chuter à 10 % pour des bateaux de 20 à 25 mètres. Ceci, je le redis, bien à programme égal. Car il est évident que si on compare les poids de deux bateaux de même taille, mais de programmes iné-

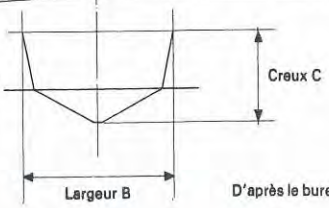
Croquis C 90 :
Poutre composite



D'après le bureau Véritas

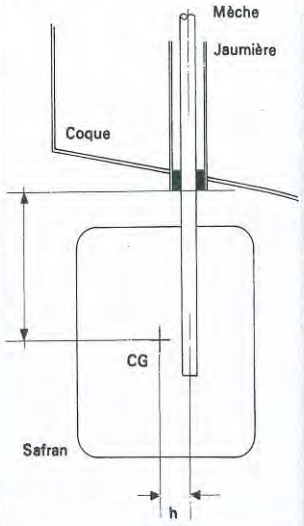


Croquis C 91 :
Dimensions prises en compte pour calculer l'échantillonnage d'une vedette à moteur en acier



D'après le bureau Véritas

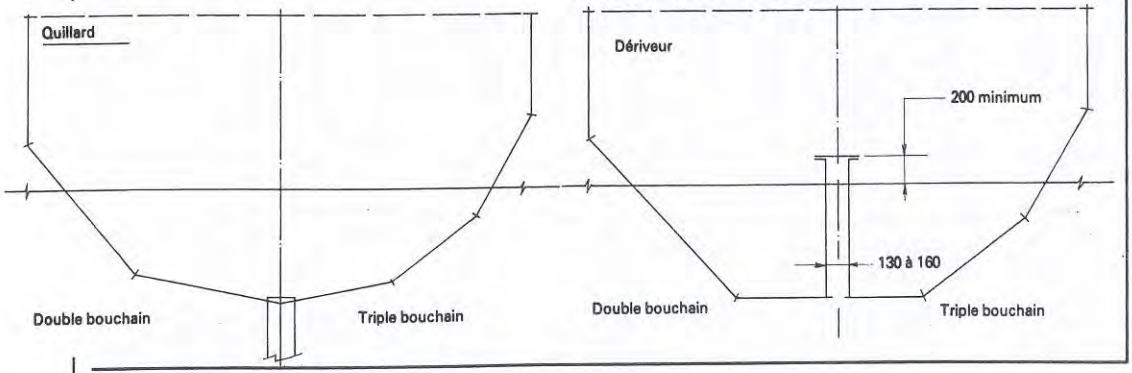
Croquis C 92 :
Calcul d'échantillonnage de la mèche d'un bateau à moteur



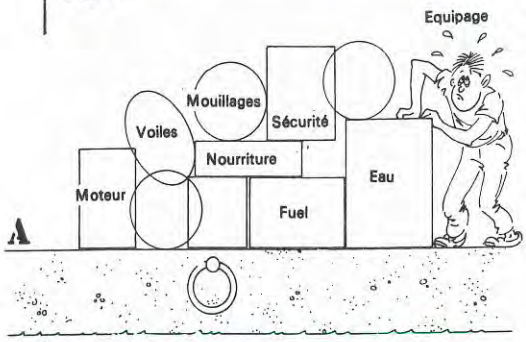
D'après le bureau Véritas

Croquis C 93 A : ***Double ou triple bouchain, cela n'a pas la moindre influence sur le comportement en mer. « Double », c'est plus facile à construire. « Triple » est une option esthétique différente. C'est tout !***

Croquis C 93 B : ***Les formes en U plat à fond plat du double bouchain passent excellemment dans la mer. De même à triple bouchain. Le choix entre les deux est purement esthétique, avec une simplicité de construction pour l'amateur qui voudra choisir le double bouchain.***

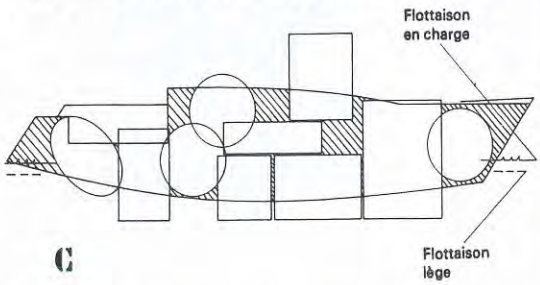


Croquis C 94 A : ***Les charges embarquées, pour un voyage et une durée donnés, sont incompressibles !***

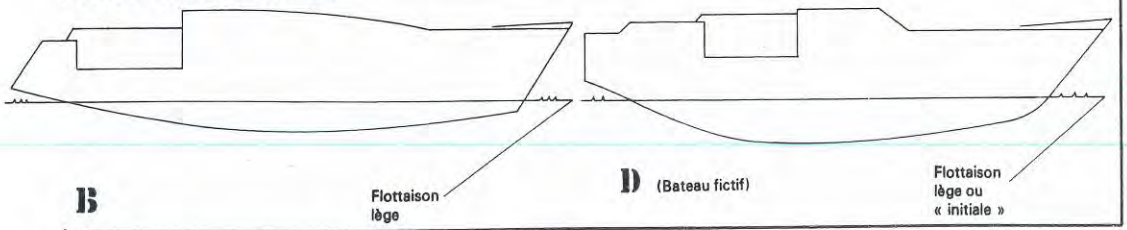


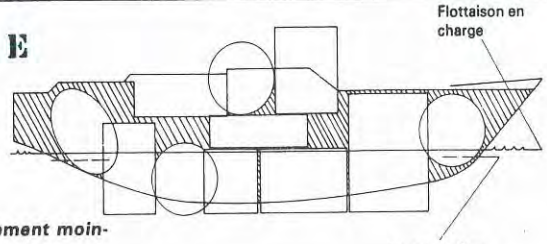
Croquis C 94 B : ***La surface de flottaison d'un bateau de déplacement léger est aussi faible que possible pour améliorer les performances compte tenu du poids de l'ouvrage. Cette « sveltesse » qui fait la beauté de ces unités en fait aussi l'inaptitude à la croisière hauturière.***

Croquis C 94 C :
La surface de flottaison d'un bateau léger n'est en général pas apte à supporter, sans un enfoncement qui modifie beaucoup les lignes d'eau, la charge nécessaire aux longues croisières et à la vie à bord pendant de longues périodes.



Dessin C 94 D
La surface de flottaison d'un bateau de croisière est prévue pour limiter l'enfoncement en charge.

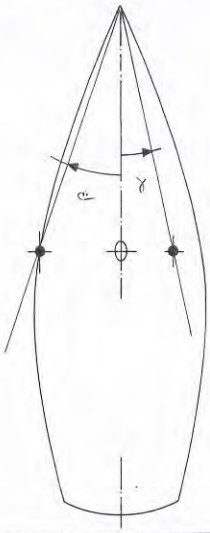




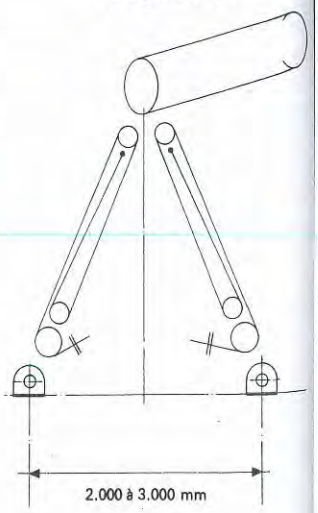
Croquis C 94 E :

Un bateau prévu pour la charge aura un enfoncement moindre et un comportement en mer plus homogène.

Croquis C 96 :
Des cadènes placées au bord extérieur du pont d'un voilier moderne l'empêchent de remonter aussi près du vent que sa carène le permettrait.



Croquis C 97 :



Pattes d'écoute de grand-voile

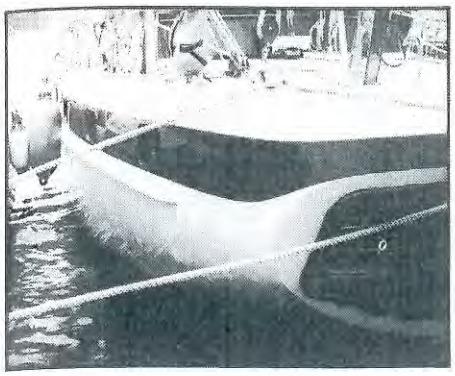
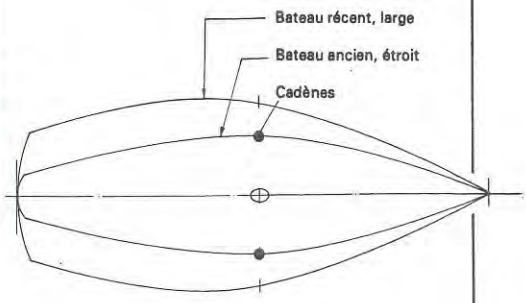


Photo C 65 :
Détail de construction hollandaise traditionnelle (Jongert 19 m).



Photo C 69 :
House-Boat en zones pliées et zone chaudronnée au chantier Brument.

Croquis C 95 : *Ce ne sont pas les cadènes que l'on a « rentrées », mais le pont des bateaux modernes qui s'est élargi. C'est pourquoi les cadènes ne doivent plus être au bord du pont !*



gaux, le gain pourrait être de l'ordre de 30 à 35 %. Entre un bateau de croisière en acier et un bateau de côtière ou croisière sportive en aluminium, par exemple !

● **Que le bateau en acier ait plutôt été sous-évalué dans son rapport volume de carène-poids.** Si le bateau a été dessiné un peu léger en acier, il sera bien dans ses lignes en aluminium.

● Si le bateau en acier a été conçu lourd et dans ses lignes en charge, il pourra paraître posé sur l'eau en aluminium. Mais c'est une question de nuance, et il sera en général possible de ramener le bateau dans ses lignes en étant plus généreux en lest et surtout en charge utile.

Si ces critères précédents sont respectés, et surtout le premier, il ne semble pas qu'il y ait d'impossibilité à concevoir une conversion d'un bateau en acier à l'aluminium. Mais ce sera un pis-aller, et souvent cela entraînera un certain gaspillage financier au niveau de la coque pontée.

BATEAU EN ALUMINIUM CONVERTI A L'ACIER

C'est sans doute moins fréquent, mais je souhaite en parler car il y a dans cette transformation des dangers plus grands que dans la conversion inverse.

● Le bateau en alu risque d'être trop léger pour être converti à l'acier.

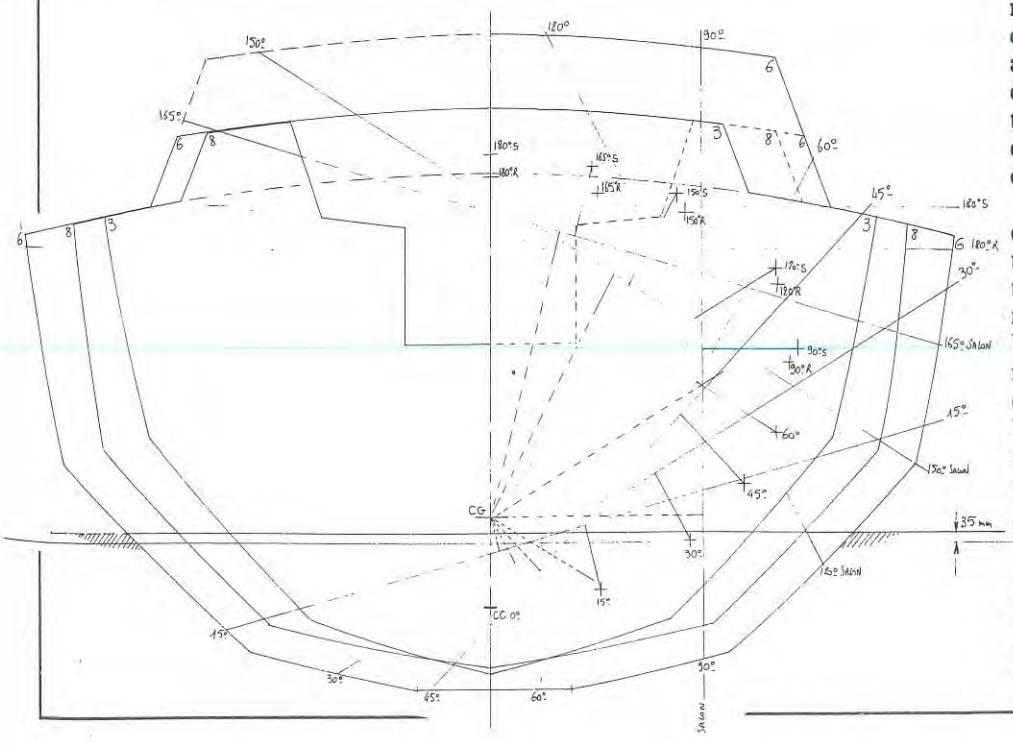
● Du côté des formes, il ne semble pas qu'il y ait incompatibilité.

● Du côté de l'entretien, certains montages seront possibles en aluminium et très dangereux en acier. Je pense à des dériveurs lestés à embryon de quille. En aluminium, on peut concevoir (même si cela me choque !) un puits incarénable par le haut, dérive descendue, c'est-à-dire à flot. Cela est tout à fait impensable en acier ! Le puits de dérive en acier devra être beaucoup plus large et tout à fait accessible, c'est-à-dire qu'il doit remonter absolulement au-dessus de la flottaison et permettre que la dérive soit enlevée tant par le haut que par le bas à flot, comme à sec pour le premier cas de figure.

Un bateau en aluminium converti à l'acier risque de ne pas être dans ses lignes d'eau, et difficile à entretenir. Le second point entraîne des ennuis faciles à imaginer.

Le premier point risque de rendre le bateau dangereux en mer, le faisant enfourner si l'étrave est trop fine pour le nouveau poids de coque qu'on lui impose.

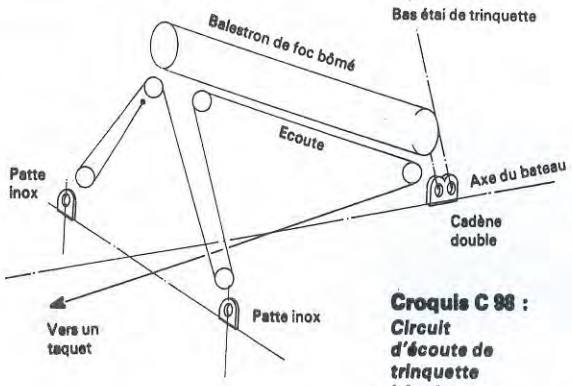
Croquis C 103 : *Etude de la stabilité du Vulcain 5.*



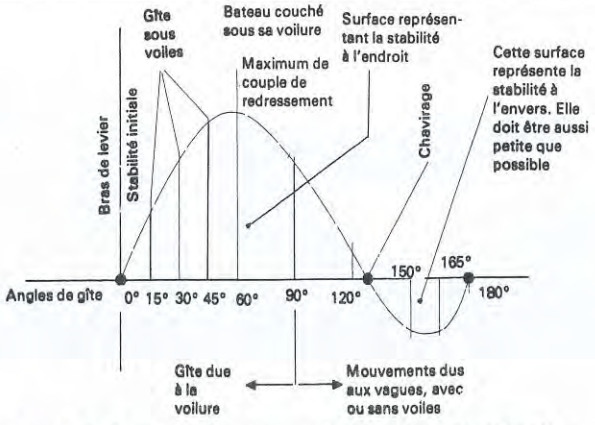
CONVERSION DE L'ACIER AU POLYESTER

Si le bateau est en formes, cela semble possible au niveau de la carène avec les mêmes réserves sur les poids que celles que j'ai émises pour la transposition en aluminium. Par contre, la quasi-totalité des plans devient inexploitable, les échantillonnages, types de structure, montages de cadènes, de renforts et d'accastillage étant radicalement différents.

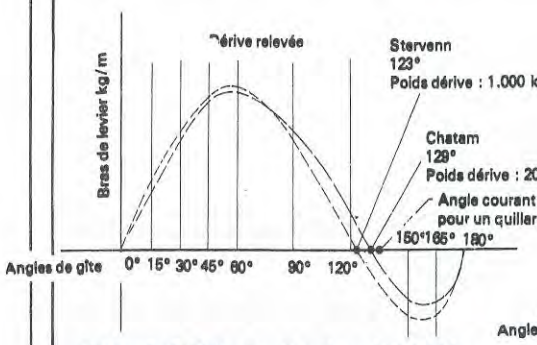
Par contre, si le bateau est à bouchains et s'il dépasse le 8 ou 9 mètres, pas question de le transposer de l'acier au polyester. Le polyester ne convient pas aux panneaux plans que présente un voilier à bouchains vifs. Pour une vedette à moteur, le problème est substantiellement différent. La résistance médiocre d'un bordé en polyester qui n'est pas mis en formes, dans le plan de son épaisseur, oblige alors à des suréchantillonnages coûteux. Il est possible aussi d'opter pour une construction en sandwich. Mais un tel bordé a des aptitudes plus que médiocres et le gain de poids sur l'acier, outre



Croquis C 98 : ***Circuit d'écoute de trinquette bômée***

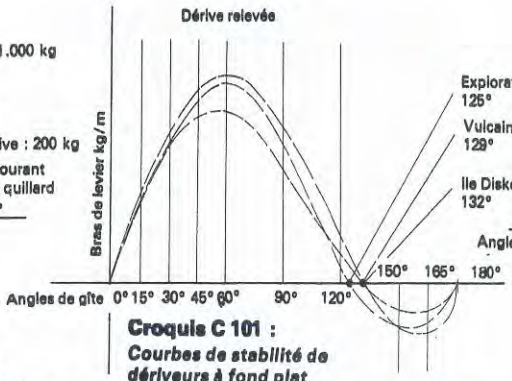


Croquis C 99 : ***Comment comprendre une courbe de stabilité.***



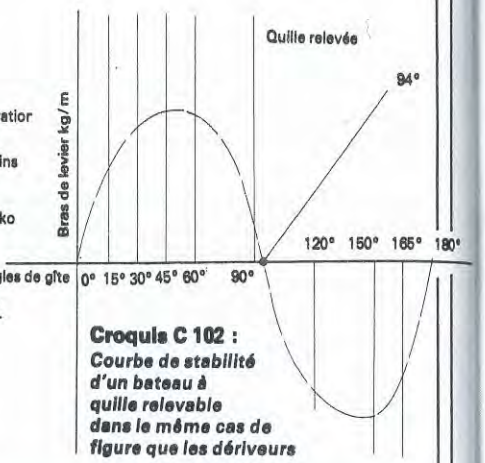
Croquis C 100 : ***Courbes de stabilité dérive haute de deux dériveurs à embryon de quille.***

Plus la dérive est lourde, plus le bateau chavire tôt lorsqu'on la relève.

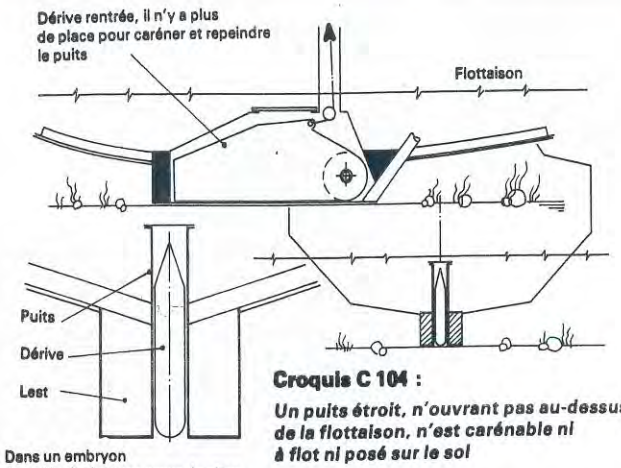


Croquis C 101 : ***Courbes de stabilité de dériveurs à fond plat***

Un quillard ne chavire que quelques degrés plus tard : vers 135° environ.



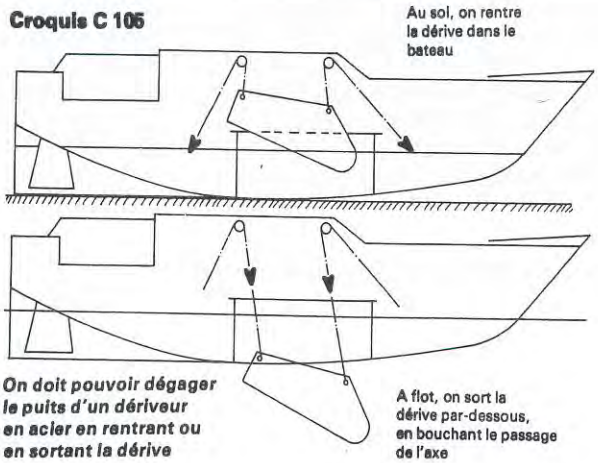
Croquis C 102 : ***Courbe de stabilité d'un bateau à quille relevable dans le même cas de figure que les dériveurs***



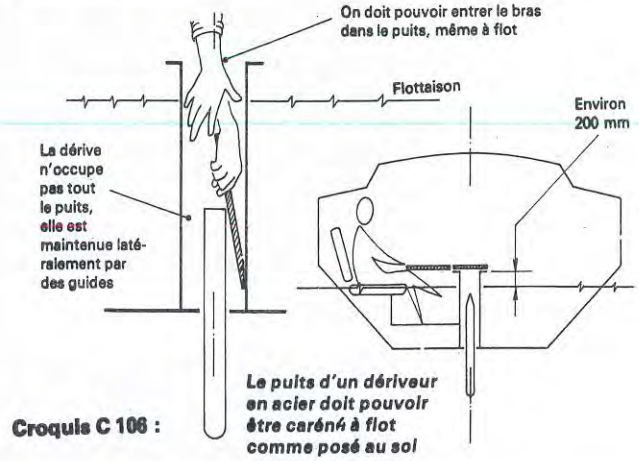
Croquis C 104 : ***Un puits étroit, n'ouvrant pas au-dessus de la flottaison, n'est carénable ni à flot ni posé sur le sol***

Dans un embryon de quille, il n'y a pas assez de place pour concevoir un puits large, en acier

Croquis C 105

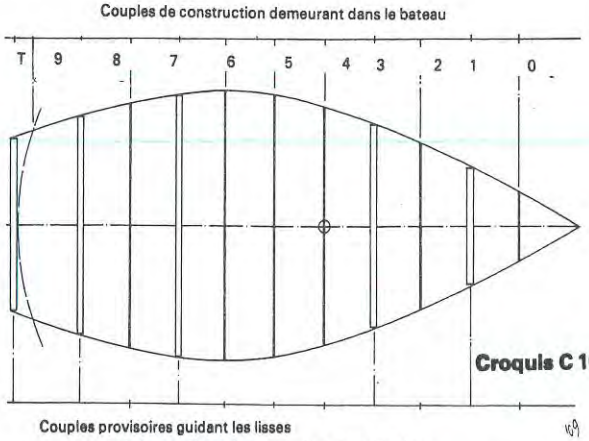


On doit pouvoir dégager le puits d'un dériveur en acier en rentrant ou en sortant la dérive



Le puits d'un dériveur en acier doit pouvoir être caréné à flot comme posé au sol

Croquis C 106 :



Répartition des couples provisoires et des couples définitifs dans le « 8 mètres acier »

Croquis C 109 :

qu'il pose le problème de sortir le bateau de ses lignes d'eau, sera faible en regard du coût engagé.

Dans l'autre sens, transposer en acier un bateau conçu pour le polyester appelle exactement les mêmes remarques que la transposition de l'aluminium vers l'acier.

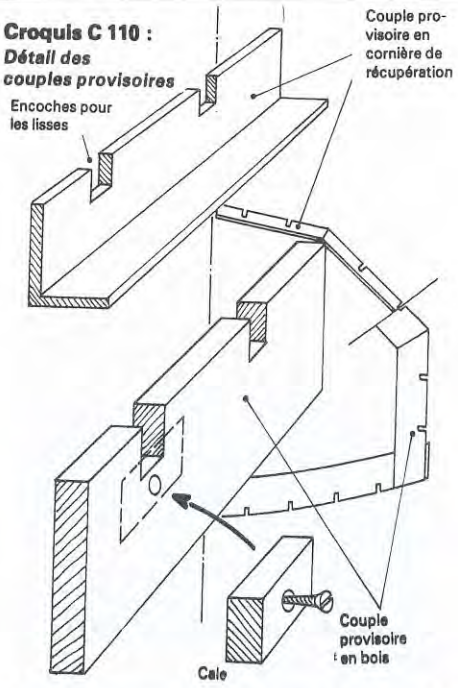
En outre, même le dessin de la quille sera parfois inutilisable si la quille du bateau en polyester était prévue en fonte moulée. Il faudra en redessiner une autre, du type caisson.

Une bien difficile opération, fort peu intéressante dans un sens ou dans l'autre.

CONVERSION DE L'ACIER AU CONTRE-PLAQUE

Nous retrouvons le même rapport de poids qu'avec le polyester et l'aluminium, et les mêmes remarques s'imposent, quel que soit le sens de la conversion. Pour ce qui est des formes de la coque, il est clair que l'on se trouvera dans le cas de carènes à bouchains. La grande différence qui serait source de bien des catastrophes, si l'on se mettait à construire en contre-plaqué des bateaux conçus pour l'acier est que si ce second matériau s'écarte avec docilité du développement naturel, géométrique, le premier s'y refuse et expose, si on passe outre, à des décollements plus que dangereux.

Pour illustrer le peu d'intérêt que trouvent les qualités marines d'un bateau construit en un matériau léger, tel que le bois moulé, à être transposées à l'acier, je rappelle l'histoire du célèbre *Joshua* de *Bernard Moitessier*. D'abord conçu pour le bois moulé par *Jean Knokker*, la coque pontée de Joshua a « *pris* » 2.600 kg dans sa transformation en acier. Le franc bord diminua de près de 5 cm. Peu de choses que tout cela ! Pourtant, le bateau y perdit une grande partie de son agrément. (*Photos C 65 et C 69. Croquis C 90 à C 110*).



Croquis C 110 : ***Détail des couples provisoires***

17

TYPES DE STRUCTURES

La définition de structure est le fruit de compromis. Chaque type se calcule, c'est un fait. Mais le choix tient à divers facteurs parfois étonnants .

- la nécessité d'approvisionnement de matériaux,
- les nécessités de la mise en œuvre,
- le budget prévu pour le bateau, et le type de programme et de clientèle choisis,
- l'outillage de l'entreprise,
- le type de construction : professionnelle ou amateur,
- les formes du bateau : construction en formes rondes ou à bouchains vifs,
- les traditions du constructeur, de sa clientèle, du pays,
- la volonté de novation,
- le type de bateau, sa taille, vedette ou voilier.

Il en découle qu'on observe divers modes de structures :

- **structures sur éléments transversaux** : sur « *membrures* »
- **structures sur éléments longitudinaux** : sur « *lisses* »,
- structures sur carlingues ou à caissons,
- structures mixtes,
- structures « *rayonnantes* ».

A l'intérieur de ces catégories, d'autres sous-catégories sont définies par le type de profilés utilisés. Brièvement, je vous donne ci-après une analyse de chaque catégorie puis les avantages et inconvénients des profilés utilisés.

En conclusion, il est possible de déterminer les tableaux suivants :

Passage de l'acier en un autre matériau		
Acier, à bouchains	Polyester	très déconseillé
	Aluminium	possible
	Contre-plaqué	très dangereux
	Bois moulé	non
	Ferro-ciment	non
Acier, en formes	Polyester	délicat
	Aluminium	possible
	Contre-plaqué	non
	Bois moulé	délicat
	Ferro-ciment	possible
Avec perte d'utilisation des plans de structure qui ne conviennent plus, pour la plupart.		

Passage d'un autre matériau à l'acier		
Coque à bouchains	Polyester	possible, mais peu favorable
	Aluminium	possible, mais peu favorable
	Contre-plaqué	possible, mais assez peu favorable
Coque en formes	Polyester	possible, quoique peu intéressant
	Aluminium	possible
	Bois moulé	possible, mais très peu favorable
	Ferro-ciment	possible

Sous réserve des remarques faites sur les différences de poids dans les textes précédents.

STRUCTURES A CAISSONS

Il s'agissait de structures maintenant abandonnées compartimentant en caissons chaque zone des fonds et du bordé du bateau. Les inconvénients de ce type de quadrillage rigide étaient principalement les risques d'éclatement des soudures lors des abordages. En effet, le voile du bordé était bridé en certains endroits considérés comme des points durs, et libre à d'autres. Pas de possibilité d'absorption des contraintes par des déformations générales restant en deçà de la limite élastique de la poutre et ne présentant donc que peu de déformations plastiques irréversibles. Dans tous les matériaux, selon toutes les techniques, on considère maintenant qu'il faut se tourner vers une structure en poutre raide dans les sens s'opposant aux contraintes, mais présentant des souplesses locales permettant la transformation des énergies provenant d'abordages ou de chocs dans les vagues en déformations momentanées et réversibles.

On appelait aussi ces structures « *à carlingues* ». Les carlingues étant des tôles pliées raidissant principalement les fonds et l'angle pont-coque (gouttière). Nos actuels varangages des fonds par des tôles pliées en sont un héritage.

STRUCTURES TRANSVERSALES, SUR MEMBRURES

Que le bateau soit en formes ou à bouchains vifs, la structure transversale se compose principalement de membrures espacées de trente à cinquante cm en moyenne. Le bordé repose directement sur les membrures et le pont repose sur les barrots. Longitudinalement ne subsiste pratiquement que la « *carlingue centrale* » appelée maintenant « *fer de quille* » ou « *allonge de quille* ».

Les membrures des bateaux à bouchains sont constituées par des tronçons de profilés reliés les uns aux autres par des goussets en tôle qui en maintiennent l'angulation. Comme le bordé repose sur cette impressionnante série de « *côtes* », on imagine que la difficulté de ce type de structure est un positionnement parfait de toutes les membrures les unes par rapport aux autres, et la conformité parfaite de chacune d'elles au tracé de référence. Egalement, même pour les bateaux à bouchains vifs, les membrures sont toujours faites de lignes courbes. En effet, les coupes transversales des bordés à bouchains ne sont pas des droites mais des courbes car le développement des tôles de bouchains est de type cônique. Maintenant, on ne dessine plus de bateaux en acier de façon que leurs bordés soient développables selon des polaires, panneau par panneau. On veille cependant à rester en deçà de la limite de vrillage que permet la limite élastique des tôles selon leur largeur, leur longueur, leur épaisseur et leur nerf.

Le tracé des membrures des bateaux à bouchains vifs doit être une construction géométrique que seul l'ordinateur maintient dans un temps de travail décent. Cela reste un inconvénient qui se traduit par un prix de revient plus élevé.

Ce type de structure est peu à peu abandonné par les chantiers qui s'en faisaient les défenseurs. *Méta* resta un des rares constructeurs qui présentait de telles structures, belles comme des œuvres de charpentiers de marine.

L'avantage de ces structures est de très bien reprendre les déformations du bordé. En effet, le bateau est une poutre de formes complexes dont l'étai et le pataras soulèvent les extrémités et dont le mât enfonce le milieu.

Les côtés de cette boîte tendent à se déformer, se repliant et déversant vers l'extérieur. Par contre, le haubannage latéral en tirant les côtés vers le haut et vers le milieu tendent à resserrer le haut de la partie centrale du bateau ainsi qu'à gonfler le pont. Ces efforts sont de sens transversal combiné à des diagonales. Les membrures les compensent très bien. Ce seront donc là des structures plutôt légères surtout si elles sont faites avec des cornières en T ou L.

Les structures transversales se caractérisent par leur excellente tenue et leur légèreté, mais aussi par leur difficultuosité qui les réservent plutôt aux professionnels avertis, et par leur prix de revient élevé pour cause de poste de main-d'œuvre importante. Très répandu en Hollande pour les grands voiliers, ce système y est appelé « Custom Building » : construction traditionnelle.

STRUCTURES « RAYONNNANTES »

J'appelle ainsi des structures mixtes qui, en général, comprennent à la fois une structure transversale dans les fonds (varangues) et dans les hauts (barrots) ; une structure longitudinale sous forme de lisses de coque ou de pont et de fers inclinés rayonnant selon les polaires de développement des bordés. On peut ainsi trouver tous les types de structures dans un même bateau qui allient intelligemment la bonne reprise des efforts transversaux, le guide du bordage par des éléments longitudinaux et une voie assez économique par les fers rayonnants. En acier, il y a assez peu d'exemples, le seul architecte ayant fait des recherches sur ces fers rayonnants étant Brice Prizso. Voyez le chapitre correspondant sur l'aluminium où je cite des exemples de telles structures sur le *Paul Ricard* de *Eric Tabarly* et sur le *Presles 38'* construit il y a quelques années par le chantier *d'Eric Ohlund, A.C.G.B.*

En général, les possibilités d'économie sont annulées par la nécessité de monter les bateaux sur des gabarits de coque et de pont.

STRUCTURES LONGITUDINALES, SUR LISSES

Appelé « Floating System », ce type de structures présente des membrures aussi espacées que possible et des lisses sur lesquelles repose le bordé. A chaque membrure correspond un barrot sur lequel elle forme un « *couple* ». Si l'architecte a prévu aux endroits de plus fortes contraintes des couples plus échantillonnés, ces renforts sont appelés « *couples porques* ». La particularité d'une structure sur lisses est que le bordé ne touche pas les membrures selon les nouvelles techniques mises au point vers 1970.

L'avantage de cette formule est que le bordé ne touchant pas les éléments les plus difficiles à réaliser, on peut passer moins de temps dans leur élaboration et éventuellement les laisser à un niveau légèrement approximatif. Je pense là surtout aux bateaux à brisures vives. Avec une structure sur membrures, les éléments transversaux doivent parfaitement suivre les couples du bordé et les tronçons des membrures sont courbes. Avec une structure sur lisse, les tronçons des membrures sont droits. Il s'ensuit une économie substantielle par un gain dans le nombre d'heures de travail. Il s'ensuit aussi deux autres conséquences. L'une est que le bordé ne touchant pas les membrures, les vagues ne font pas « *ressortir les côtes* » en le martelant comme on le voit sur les bateaux, petits ou grands, construits sur membrures. Le bordé absorbe le choc des vagues avec souplesse et progressivité, les lisses servant d'amortisseurs. L'autre est qu'on peut jouer sur l'encastrement des lisses dans les membrures pour régler une telle construction. Sur mes plans, j'ai conçu ces structures pour permettre de reprendre jusqu'à 5 mm d'erreur dans le tracé, la construction ou le positionnement des membrures. Cela représente un nouveau gain de temps, donc une économie supplémentaire.

On en déduit que ce type de structure souple et rapide à monter est bien adapté à tous les bateaux à vocation économique, à la construction artisanale, car elle ne nécessite pas de gabarits, encore qu'elle en permette l'emploi pour ceux qui veulent encore gagner du temps mais au prix d'un investissement, et à la construction amateur. D'ailleurs à peu près toute la construction amateur « *latine* » se fait sur de telles structures que vous trouverez décrites, dans le « *Manuel de construction artisanale et individuelle* ».

L'inconvénient de cette structure étant de répondre moins bien aux contraintes transversales alors qu'elle satisfait parfaitement aux efforts de flexion longitudinale. Il s'ensuit un excédent de poids qui condamne l'emploi de telles structures pour des bateaux de course. Le pont repose à la fois sur les barrots et sur les lisses qui y sont encastrées. **Les fonds sont raidis par une structure transversale plus dense** : les varangues.

STRUCTURES MIXTES

Par ce terme on peut entendre deux choses. D'une part, il s'agit là de structures comprenant à la fois des éléments longitudinaux et transversaux porteurs. D'autre part, on peut entendre qu'il s'agisse de la structure acier sur des coques en bois ou en polyester, voire en ferro-ciment. Je traite ces exemples après l'étude des structures en acier sur des coques en acier.

Les structures mixtes comprenant à la fois des lisses de coque et des lisses de pont, et des couples serrés, sont assez rares dans la mesure où elles ne représentent pas un compromis efficace mais plutôt une régression. En effet, elles sont plus lourdes que des structures sur membrures. Bien que comportant moins d'éléments transversaux ceux-ci sont plus échantillonnés. Et elles ne sont plus réglables comme les structures sur lisses. Elles présentent par contre un gain de temps et donc une économie sur les structures transversales. Leur pont repose comme dans les structures sur lisses, à la fois sur les barrots et les lisses de pont.

On notera que le chantier Hollandais « *Huisman* » qui travaille souvent sur membrures pour la construction de bateaux de croisière ou de course, en aluminium la plupart du temps, ajoute des lisses dans la partie avant de ses coques. Ceci afin de répartir sur une structure mixte présentant une souplesse évidente, les coups de boutoir des vagues. Les « *joues* » des bateaux sont en général plutôt plates et lorsque le bateau retombe, gîté, dans le creux d'une vague, le bordé de ces zones a tendance à rentrer et, peu à peu, cette déformation élastique devient plastique, c'est-à-dire permanente. Ces lisses sont disposées en biais, soit montant soit descendant vers l'avant.

La seconde solution paraissant être intéressante car elle se présente normale aux chocs, ce qui peut être un but à rechercher.

Ces structures étaient fréquentes déjà chez « *Van de Stadt* », célèbre architecte Belgo-Hollandais. « *Eugène Van de Stadt* » disposait de tels renforts à l'avant de ses coques en contre-plaqué.

SOUDURES

Pour toutes ces structures, on peut retirer ces généralités :

- les tôles de coque sont soudées entre elles en cordons continus assurant l'étanchéité du bordé. Elles sont assemblées par des cordons larges repris intérieurement.
- les ponts sont assemblés par des cordons continus qui peuvent être faits par l'extérieur à forte pénétration.
- à part des cloisonnements étanches pour des bateaux de plus de 15 mètres, la structure est pointée sur le bordé de coque et de pont. Ce pointage est fait par traits en quinquonce. C'est un chenillage en pas de pélerin.
- les éléments de structure sont soudés les uns sur les autres.
- dans la quille, les renforts étanches qui limitent l'avant et l'arrière du ou des réservoir(s) sont soudés en continu. Les autres renforts sont seulement chenillés.
- Voyez les chapitres sur la construction individuelle pour tout complément d'information sur le montage de ces structures et sur le soudage.
- Voyez « *le Procédé* Sprongall » dans les chapitres sur l'aluminium. Ce procédé de construction en tôles épaisses sans structure est utilisé en aluminium par le chantier lyonnais « *Meta* ». Cette méthode permet aussi de construire des bateaux en acier comme vous le verrez dans le chapitre sur la tradition hollandaise.

LES PROFILES UTILISES

Voici une liste des types de profilés utilisés, avec leurs dimensions et caractéristiques.

Varangues :

Le plus souvent, les varangues, en construction professionnelle, sont faites en tôles pliées d'une épaisseur égale ou supérieure au bordé de fond. Elles possèdent un bord supérieur plié à la presse plieuse, d'une largeur de 35 à 55 mm. Lorsque, pour la construction amateur par exemple, elles ne sont pas pliées, les varangues sont faites comme les membrures.

Membrures :

Ces renforts transversaux sont en cornières en L ou T, ou en fers plats. Les L ont une avantageuse largeur de leur grande aile qui donne une bonne inertie perpendiculaire au bordé. La petite aile est tournée vers l'intérieur du bateau, vers l'avant pour les membrures qui se trouvent en arrière du maître-bau, vers l'arrière pour les membrures de l'avant. L'inconvénient du L est de vriller lorsqu'on le cintre ou le forme, si on n'y prend pas garde. Un avantage est la possibilité d'encastrer des lisses dans la largeur de sa grande aile. Bon rapport inertie-poids. Un angle et une face difficilement accessibles par le sablage, la peinture et l'entretien. Le bas des membrures peut être raidi par une tôle pliée comme l'est une varangue, ou par une cornière à ailes égales qui supporte aussi les planchers, si ceux-ci ne sont pas trop hauts.

L'usage des fers plats (méplats) facilite le sablage, la peinture et l'entretien. Les plats sont faciles à former et à cintrer. Pour les bateaux à bouchains vifs, ils sont faciles à assembler. Ils sont cependant plus lourds que les L et les T pour une inertie donnée. En construction amateur, ils se généralisent depuis *Stervenn* qui fut un des tout premiers bateaux homologués, tout en fers plats, en 1973. En construction professionnelle et surtout avec l'emploi de profilés pré-peints, le L conserve sa place de choix. C'est la facilité de travail, soudage, coupe, assemblage et de sablage qui désigne le fer plat pour les amateurs.

Barrots :

Les barrots sont en général en L à ailes égales ou inégales lorsque les membrures sont en L, et en méplats lorsque les membrures le sont aussi. Les raisons sont les mêmes que celles que j'ai énumérées ci-dessus. « *Brument* » » utilise des barrots en U pour gagner de la hauteur sous barrots, mais il peut le faire car le pont de ses Vulcain est fait sur gabarit. On peut redire que l'avantage des barrots en L pour le constructeur amateur, outre le fait d'être faciles à cintrer, est de faciliter le sablage et la peinture, donc leur entretien, puisqu'un fer bien peint demande moins d'entretien par la suite.

Lisses :

Les lisses sont souvent en T ou en fers plats. Le T est un profilé symétrique donc qui ne vrille pas. Il est très léger pour une inertie désirée. Mais son encastrement demande une importante découpe des membrures. Aussi souvent ne sont-ils pas encastrés. Les membrures sont posées sur leur aile tournée vers l'intérieur du bateau. Mais cette technique économique fait perdre un peu de place à l'intérieur du bateau et supprime la possibilité de réglage du bordé en encastrant moins la lisse centrale. On y arrive cependant mais il faut avoir recours à des astuces de professionnels, meulage...

Un gros inconvénient des T lorsque l'amateur les utilise bruts, est de rendre très difficile le sablage, surtout des faces intérieures.

C'est pour cela que, malgré un poids supérieur, les amateurs qui travaillent avec des tôles et des profilés non prépeints, préfèreront utiliser des fers plats pour les lisses de coque et de pont. Dans un cas comme dans l'autre, voyez pour leur mise en place et leur réglage le « *manuel de construction amateur et artisanale* ». Dans tous les cas aussi on découpe dans leur bord qui touche le bordé, quelques demi-lunes au point le plus bas pour faciliter l'écoulement des eaux de condensation qui peuvent s'y accumuler, notamment avant que le bateau soit bien isolé.

Le fer de quille :

Le fer de quille, ou carlingue centrale peut être un profilé en L ou méplat, ou une tôle avec un bord supérieur plié. En construction moderne, ce fer sert surtout de référence pour le bordage des fonds, et de raidisseur du pied des membrures. A l'étrave, il est prolongé à l'extérieur par une ferrure d'étrave en inox. Le plus souvent, le fer de quille est un méplat pour la construction amateur et artisanale. Vous avez deviné que c'est pour faciliter le sablage, la mise en peinture et l'entretien.

En résumé :

Lorsqu'on travaille en tôles et profilés pré-peints, il n'y a pas de gêne à utiliser des cornières en L ou en T. Lorsqu'il faudra sabler le bateau construit en tôles et profilés bruts, mieux vaut des méplats.

Si on veut alléger la structure, il faut par contre travailler en L et T. Pour assembler facilement les tronçons des membrures d'une coque à bouchains vifs, mieux vaut choisir des méplats. On peut choisir le L mais pas le T. L'encastrement est plus facile avec des lisses en fers plats.

Pour les grands bateaux, on peut remplacer les fers plats par des « *fers à boudin* ». Ces fers ressemblent à un plat dont un bord serait renflé comme si on lui avait adjoint une barre ronde. Ces fers n'existent pas dans les petites sections. Ils sont faciles à peindre et à sabler et ont des caractéristiques plus proches des L quant à l'inertie.

On déduira de l'ensemble qu'une structure transversale en L sera à peu près ce qui se fait de plus léger, mais qu'une structure longitudinale sur lisses en fers plats sera ce qui conviendra le mieux à l'amateur, facile à mettre en place et à régler, facile à sabler et à entretenir.

CONSTRUCTIONS MIXTES

Quelques lignes pour signaler l'emploi de l'acier doux ou de l'acier inoxydable pour renforcer des constructions en bois en polyester... et en ciment.

Ferro-ciment :

On le sait fort bien, comme le béton, les bordés de bateaux en ferro-ciment sont armés de fers ronds et de grillages en acier. Ces fers sont parfois des fers tors, c'est-à-dire des ronds présentant des sortes de cannelures sur lesquelles accroche mieux le ciment. Ces fers forment une toile d'araignée qui donne ses formes au bateau et lui sert de structure.

Polyester :

On reprend souvent les efforts de la quille par un châssis en acier entièrement noyé dans le polyester des fonds. Le varangage des fonds est alors en acier, soudé au châssis principal, et nappé de tissus de verre. L'acier doit être sablé et peint au zinc avant d'être plastifié. On arrive à fabriquer des ensembles transversaux solides et rigides comprenant le châssis de quille, les membrures au niveau du mât et des haubans, les cadènes et leurs renforts, les barrots, ainsi que l'épontille. Cet ensemble monobloc est soudé, descendu dans la coque encore dans son conformateur puis nappé de tissus de verre souvent unidirectionnels. Une bonne méthode, légère et solide, pour raidir les bateaux en polyester et reprendre les importants efforts de traction des haubans, de compression sous le mât et entre les cadènes opposées.

Bois :

Depuis encore plus longtemps, on a trouvé des goussets, des serres (grosses lisses à mi-bordé) et des varangues en fer, puis en acier, sur des bateaux en bois classique. De nos jours, on continue à raidir les bateaux en bois par des goussets en inox et un varangage de fond en acier ou en inox. A la différence du polyester où les renforts étaient eux-mêmes en acier, ici les renforts sont souvent en bois, mais leurs assemblages collés et vissés sont assurés par des cornières et des goussets métalliques vissés.

Il faut se méfier dans les bateaux en chêne ou dans les bateaux qui ont des varangues en chêne, de l'action corrosive acide du tanin qui ressort de ce bois lorsqu'il a été mouillé. Le tanin « *aidé* » par les chlorures de l'eau de mer ronge les aciers doux et inoxydables comme les alliages d'aluminium qui peuvent jouer les mêmes rôles que ceux que je viens de décrire pour des bateaux de sport qu'on désire aussi légers que possible.

L'acier sous ses formes les plus modernes permet ainsi de raidir et d'assurer l'homogénéité des bateaux en ciment, bois classique, bois moulé, contre-plaqué et polyester armé. C'est lui reconnaître ses qualités mécaniques exceptionnelles.

Les prochains Hors Série de Loisirs Nautiques :
- **Tout ce que vous devez savoir sur la voilure : fabrication, entretien, réparation.**
- **L'architecture navale française.**
- **Tout ce que vous devez savoir sur la construction du bateau de plaisance en ferro-ciment.**
- **Le guide technique pratique du parfait plaisancier et constructeur amateur.**

Pour des raisons techniques certains de ces titres peuvent être annulés.

STRUCTURES ET ECHANTILLONNAGES

Il existe un certain nombre de données universelles de mécanique qui permettent de déterminer la valeur de résistance de la poutre formée par la coque et le pont du bateau. L'expérience est, pour celui qui exerce déjà depuis quelques années, un paramètre de jugement des échantillonnages. C'est une approximation dont nul n'oserait dire qu'elle n'entre pas grandement en ligne de compte dans la répartition de la structure et les calculs d'épaisseurs et de section.

Commençons par quelques données fondamentales de mécanique. Il ne faut cependant pas se leurrer. Il y a loin de la poutre idéale étudiée en calcul de résistance à la coque d'un bateau. Un peu moins loin pour une vedette que pour un voilier. Aussi les formules de calculs ne sont-elles que des indications, la réalité s'en écarte d'une façon fort complexe. Par ailleurs, ce Hors Série est une étude des métaux que sont l'acier et les alliages d'aluminium et non un manuel ou un précis d'architecture navale. Quelques notions de base suffiront. Celui qui veut faire profession d'architecture navale trouvera ici quelques rappels concernant les métaux mais devra chercher dans une multitude de livres la technique et la mathématique qui président à la conception. Ici, je vous parle plus de pratique que de théorie.

CONTRAINTE, ALLONGEMENT, ELASTICITE

Taux de contrainte

$$t = \frac{P}{S}$$

Formule dans laquelle

t est le taux de contrainte en kg/mm²

P est la charge supportée en kg

S est la section de matière supportant la charge, en mm².

Le calcul du taux de contrainte établit le rapport entre une section du matériau travaillant (câble de hauban, cadène, etc.) et la charge qu'elle supporte. Par règle de trois, on extrapole ou intrapole d'un diamètre à un autre, d'une section à une autre en possédant deux des trois données pour trouver l'autre.

Allongement

$$e = \frac{l}{L}$$

Formule où e est l'allongement en %.

l est la valeur de l'allongement à la rupture en mm.

L est la longueur de l'éprouvette au début de l'essai.

L'allongement caractérise tous les matériaux et donne une idée de sa capacité à se déformer avant la rupture.

Module d'élasticité dit de « Young »

$$E = \frac{t}{e}$$

Dans laquelle E est le module d'élasticité en Kg/mm².

t est le taux de contrainte en Kg/mm² et e est l'allongement en %.

Quelques valeurs de modules d'élasticité

Matériau	E en Kg/mm²
Résine polyester non armée	350
Bois selon ses diverses formes	500 à 1.500
Verre	7.000
Alliages d'aluminium	7.000
Bronze et cupronickel	12.000
Fibres de keviar	13.500
Fibres de carbone	17.500
Acier	20.000

RESISTANCE A LA TRACTION

La limite élastique marque le seuil de la déformation réversible avant que l'allongement devienne permanent, ce qui précède la rupture. Plus un matériau est dit élastique, plus il y a de différence entre sa limite élastique et sa résistance de rupture. Entre les deux se situe la zone de déformation plastique, permanente. En deçà on reste dans la déformation élastique, le matériau revenant à son état premier, avant l'application de la charge.

Matériaux	Limite élastique Re Kg/mm²	Allong. à la rupture A en %	Résistance à la rupture R Kg/mm²
Bois de fil	—	—	10
Bois debout	—	—	0,5
Fibre de verre		5	250
Fibre de Kevlar		2	300
Aluminium	10 à 30	5 à 40	10 à 60
Acier doux	25	30	50
Titane	—	8 à 50	70 à 140
Fibre de carbone		0,8	140

INERTIE

Moment d'inertie $I = \frac{bh3}{12}$

pour une poutre de section rectangulaire où b est la largeur de la poutre rectangulaire.

h est la demi-longueur du profil (distance de la fibre neutre au bord).

Inertie de l'ellipse $Ixx = \frac{S\ a2}{4}$ où

S est la surface de la section

a est le demi grand diamètre.

Pour un moment de flexion donné la courbure est d'autant plus grande que le module d'élasticité du matériau est grand et que le moment d'inertie de sa section est élevé.

FLEXION DE LA POUTRE

Elle est définie par la formule

$$R = \frac{EI}{Mf}$$

R : rayon de courbure de la poutre en flexion.

Mf : moment de flexion.

E : module d'élasticité.

I : moment d'inertie de la section en mm4.

MODULE DE RESISTANCE D'UNE POUTRE COMPOSITE

Les associations des profilés de structure entre eux et avec les tôles de bordé sont assimilables à des poutres.

d : est la hauteur de la poutre.

S0 : est la section de l'âme.

S1 : est la section de la semelle.

S2 : est la section de la tôle de bordé.

Le module de résistance avec « tôle associée » W de cette poutre est donné par la formule

$$W = S_1 d + \frac{S_0 d}{6}\left(1 + \frac{S_2 - S_1}{S_2 + 0{,}5S_0}\right)$$

Cette formule n'est utilisable que si S_2 est plus grand que S_1.

La largeur du bordé associé à considérer dans le calcul de S_2 est la plus petite des 3 suivantes :

- 0,2 fois la longueur totale de la poutre
- 100 fois l'épaisseur du bordé associé
- la largeur du bordé soutenu par la poutre.

Le moment d'inertie de cette poutre est :

$$I = \frac{W \times d}{2}\left(1 + \frac{S_2 - S_1}{S_0 + S_1 + S_2}\right)$$

I est obtenu en Cm_4 si les sections sont en Cm_2.

MODULE DE RESISTANCE DES PROFILES

Lorsque, pour le profilé considéré la bande de bordé associé a une section (S) intermédiaire entre les sections définies plus haut, le module de résistance W est déterminé par abaque en fonction de la valeur de S. On peut appliquer la formule

$$W = W_1 - (W_1 - W_2)\left(\frac{S_1 - S}{S_1 - S_2}\right)$$

où W1 est le plus grand module de résistance donné par abaque et correspondant à la section de bordé associé S_1.

et W_2 est le plus petit module de résistance correspondant à la section de tôle S_2. Les abaques à consulter peuvent être les *tableaux 22* du règlement pour la construction des vedettes en acier fait par le Bureau Véritas. N° 1 de 1968 avec mise à jour. On en conclura la grande difficulté qu'il y a à calculer des voiliers de structure complexe et encore plus lorsqu'il y a des associations de matériaux composites ou seulement de matériaux différents.

On peut aussi se reporter aux *« Rules for the hull construction of steel yatchts »* du Lloyd's register of shipping, de janvier 1974 et suivants.

La plupart des formules utilisées pour les calculs de résistance de poutres, les cas de poutres encastrées, appuyées, se trouvent dans les livres de mécanique générale, par exemple celui de M. Jacques Muller.

COEFFICIENTS DE SECURITE POUR LES VEDETTES A MOTEUR

Les échantillonnages déterminés par les formules classiques pour les structures des vedettes à moteur en acier doivent être majorés selon les normes suivantes selon le Bureau Veritas :

- **quille, étrave, étambot** = + 20 %.
- **épaisseur des fonds, bordé** : + 20 % ou réduction d'espacement de structure : — 17 %.
- **module de résistance structure** : + 30 %.
- **coefficient de charge pour ponts** : + 20 %.
- **module de résistance des renforts de façade de roof** : + 100 %.
- **tôles des cloisons** : + 0,5 mm.
- **module de résistance des renforts de cloisons en tôles** : + 25 %.
- **diamètre de mèche de gouvernail** : + 7,5 %.

ELEMENTS DE CALCUL DES ECHANTILLONNAGES D'UNE VEDETTE A MOTEUR D'APRES LES NORMES DU BUREAU VERITAS

Il n'est pas particulier de concevoir une vedette en acier. Elle se conçoit et se calcule comme toute autre dans quelque matériau que ce soit.

Ses spécificités sont celles de son programme. Le poids de la coque pontée, dans les petites tailles, ne permettra pas toujours de concevoir une coque déjaugeante sans le secours d'une puissante motorisation. Par contre au-delà de 10 mètres il sera facile de concevoir n'importe quel type de carène, déjaugeante, semi-déjaugeante, à déplacement.

Notre propos n'est pas ici de préciser les modalités de calculs d'une carène. Voici des indications basées sur les méthodes du *« Bureau Véritas »* servant à calculer l'échantillonnage d'une vedette en acier.

Je prends ci-après le règlement de 1968 et ses remises à jour.

On remarquera qu'à peu près tous les auteurs qui ont décrit les méthodes de calcul des échantillonnages éprouvent le besoin justifié de faire la réserve selon laquelle leurs formules de calcul sont empiriques. Elles donnent une image utile mais approchée de la façon de concevoir un échantillonnage dans le type de structure choisi. Les résultats doivent être corrigés d'un coefficient de sécurité et modifiés cas par cas pour s'adapter aux particularités de chaque unité. Les expériences faites par chaque architecte ou cabinet d'architectes constituent *« leur Expérience »*. Cette expérience, ce *« know-How »* irremplaçable dont aucun architecte sérieux et honnête n'hésite à reconnaître qu'elle est basée sur le cocktail fait du calcul, de l'expérimentation, de l'intuition et des intrapolations et extrapolations des modèles déjà créés.

En tout état de cause, voici des formules permettant de travailler avec méthode au calcul des échantillonnages d'une vedette en acier.

APPLICATION

Les formules et méthodes suivantes s'appliquent aux vedettes de petite taille sans but de transport marchand ni destinées à transporter des personnes. Ces bateaux auront un seul pont de type continu et des formes progressives voisines du développement ou développables. Le calcul de chaque élément sous-entend l'homogénéité de la conception de l'ensemble.

SYSTEME TRANSVERSAL OU MIXTE

Notes pour le calcul d'une structure d'une vedette à fond simple sans carlingues pour les petits bateaux, avec une ou plusieurs carlingues montant au niveau des varangues pour les autres bateaux de plus grande taille.

Module de résistance des varangues

$$W = 8{,}4\left(\frac{B + b_o}{2}\right)^2 E_v (T + A)$$

W en cm^3 : voir les chapitres sur les calculs d'échantillonnages des structures.

B : largeur au milieu de la longueur entre perpendiculaires ; en mètres.

T : tirant d'eau au milieu de la longueur entre perpendiculaires ; en mètres.

b_o : plus grande portée entre supports longitudinaux.

E_v : espacement des varangues ; en mètres.

$A : 0{,}1\ (L)^{2/3}$

Echantillonnage des carlingues

$$W = 5\left(\frac{B}{2} + 2E_v\right)^2 E_c (T + A)\left(1 - \frac{1{,}5\,b}{B}\right)$$

W en cm³.

E_v ne pouvant être supérieur à $\frac{B}{2}$

b : distance à la carlingue axiale.

E_c : espace moyen entre les autres carlingues.

Module de résistance des membrures

Si T est supérieur ou égal au 1/20e de L = W = 2,25 l 2.E.T.

Si T est inférieur au 1/20e de

$$L = W = 2{,}25\, l\, 2.E.\frac{L}{20}$$

où

E : espacement des membrures, en m.

L : longueur entre perpendiculaires au niveau de la flottaison en charge, depuis l'étrave jusqu'à la mèche du gouvernail, en m. W en cm³.

Bordé sur membrures

Longueur L en mètres	Espacement entre Membrures E en mètres	Epaisseur du bordé en mm
8	0,39	2,5
10	0,36	2,5
12	0,34 ou 0,41	2,5 ou 3
14	0,385 ou 0,45	3 ou 3,5
16	0,43	3,5
18	0,41 ou 0,47	3,5 ou 4
20	0,455 ou 0,515	4 ou 4,5

Bordé sur lisses

El : espacement des lisses doit être du même ordre que celui des membrures.

Él : l'espacement des membrures est multiplié par 3 à 4.

Module de résistance des lisses avec bordé associé :

$$W_L = \frac{e2\,El^2}{6E_L}$$

e : épaisseur du bordé, réglementaire, correspondant à l'espacement E_L

Ponts

● Coefficient de charge :

$$h_o = \frac{0{,}1\ \sqrt{L}}{1{,}5 - \frac{T}{C}}$$

C : est le creux au milieu de la longueur.

L : c'est la distance entre le dessus du fond et le niveau de la face inférieure du pont au livet.

● Coefficient de charge des roofs (ou « rouf », ou « roufle »).

$$h_x = \frac{h_o}{1 + 10\ \frac{x}{L}}$$

x étant la hauteur du roof au-dessus du pont.

● Pour un pont supportant des aménagements h = 0,30.

● Pour un pont accessible à des passagers : h = 0,45.

Epaisseur du pont

e = 12 E $\sqrt{h}$

e est en mm.

E est l'espacement des barrots, en mètres, dans le cas d'une structure transversale, ou l'écart entre les lisses pour une structure mixte.

Tôle gouttière

$$\text{Si } T \geqslant \frac{L}{20}\ e = 0{,}45\frac{L}{C}(T + 0{,}015\,L)$$

$$\text{Si } T < \frac{L}{20}\ e = (0{,}45\frac{L}{C})\ x\ \ (0{,}065\,L)$$

(ixe)

Module de résistance des barrots

W : 5,6 l² E h.

Hiloires de pont

Les hiloires sous le pont sont des renforts longitudinaux plus larges que les lisses ou les barrots. Par voie de conséquence, les côtés d'un roof voire les dossiers d'un cockpit sont considérés comme étant des hiloires lorsqu'ils sont en acier et soudés au reste du pont ou du roof.

W : 5,6 S_1 P.

P est la charge de valeur.

$$P = S_1\left(\frac{l_1 + l_2}{2}\right)h$$

S_1 est la portée de l'hiloire entre deux renforts qui la soutiennent, en mètres.

l_1 et l_2 sont les portées de barrot de part et d'autre de l'hiloire, en mètres.

W : cm³.

Mèche de gouvernail

● Vitesse minimum à prendre en considération dans les calculs :

$$V = 3 + 0{,}9\sqrt{L}$$

● Vitesse maximum considérée par les calculs

$$V = V\ \text{maximum}\ \frac{6}{4 + \frac{V\ \text{maxi}}{\sqrt{L}}}$$

● Diamètre maximum :

$d_1 = 18^3\ \sqrt{A.R.V^2.}$

D_1 : en mm.

A : surface du safran.

R : pour un gouvernail suspendu

$$R = V + \sqrt{V^2 + h^2}$$

R : pour un gouvernail avec aiguillot ou crapaudine :

$$R = 0{,}23\,(V + \sqrt{V^2 + 16\,H^2.}\ )$$

V : distance entre le centre de gravité du safran et le dernier palier de la jaumière, en mètres.

h : distance entre le centre de gravité du safran et l'axe de la mèche.

Epaisseur du safran en simple tôle

e = 1,1 EV

ou e = 0,1 d_o.

e : épaisseur en mm.

E : espacement des renforts horizontaux (bras), en mètres.

V : vitesse en nœuds.

d_o : diamètre, en mm.

Gouvernail à deux tôles en V

Epaisseur du bordé de safran :

$$e = \frac{2(d_o/100)2}{l} + \sqrt{\frac{4(d_o/100)^4}{l^2} + 1{,}25\,(E.V.)^2}$$

où

l : largeur maximum du safran jusqu'à l'axe de la mèche, en m.

V : vitesse.

E : espacement des renforts horizontaux (voiles).

— Diamètre du moyeu de la barre = 1,9 d_o

— Diamètre des drosses en acier inoxydable : la résistance du câble doit être égale à :

$$F = 6\frac{d_o^3}{R}, \text{ en kg}$$

R est le rayon du secteur de barre, en mm.

De nombreux autres détails de structure sont concernés en plus des plus importants que je vous ai rapportés ici et qui à eux seuls permettent une excellente approche des échantillonnages.

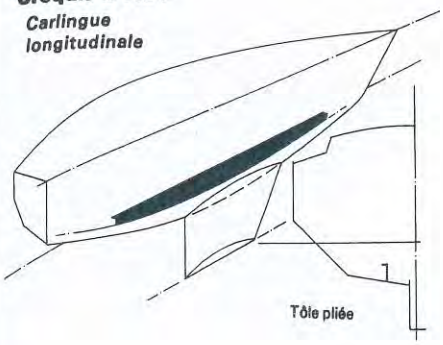
Pour connaître la somme des détails réglementés, il faut se procurer le « Règlement pour la construction des Vedettes en acier » du Bureau Véritas, ainsi que le décret le plus récent de la Marine Marchande.

CONSTRUCTION DES PETITS BATEAUX OU DES UNITES A COUPLES TRES ESPACES

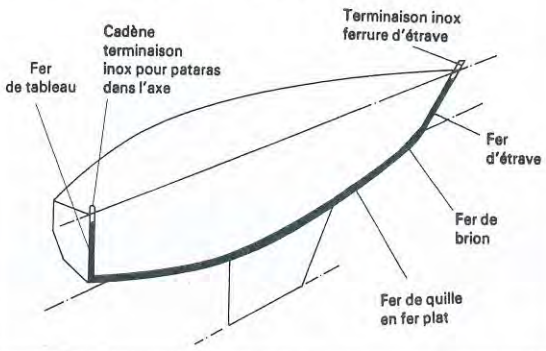
Construire un petit bateau n'appelle pas de longs développements car ce n'est pas en soi plus difficile, bien au contraire, que construire un grand bateau en acier. Les couples sont plus légers d'un périmètre et d'un échantillonnage moindres. Leur nombre est inférieur. Le nombre et le poids des tôles sont plus petits. Mais on note une différence par rapport à un grand bateau lorsque tous deux sont construits sur lisses en *« Floating System »*.

Dans un grand bateau, on espace souvent les membrures ou les couples porques de 1 m à 1,25 m. Guère moins et guère plus. Cet espacement convient pour la solidité de la structure et du bateau. Il convient aussi pour guider les lisses d'un couple à l'autre sans qu'elles puissent errer et rendre l'obtention des formes aléatoire. Dans un petit bateau on peut serrer les couples au niveau du mât, des

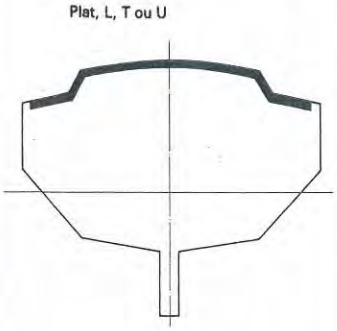
Croquis C 112 :
Carlingue longitudinale



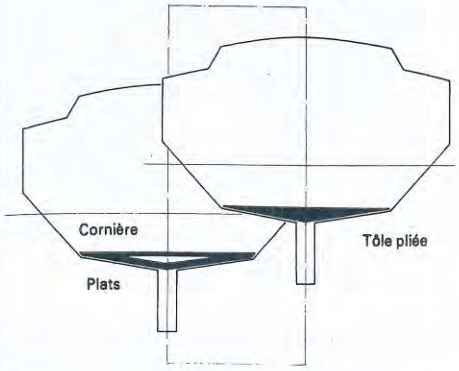
Croquis C 113 : *Allonge de quille. Fer de quille.*



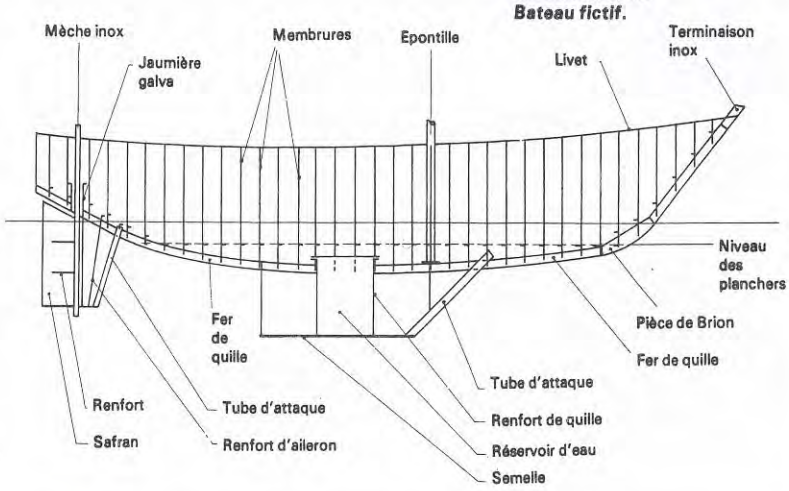
Croquis C 114 : *Barrot.*



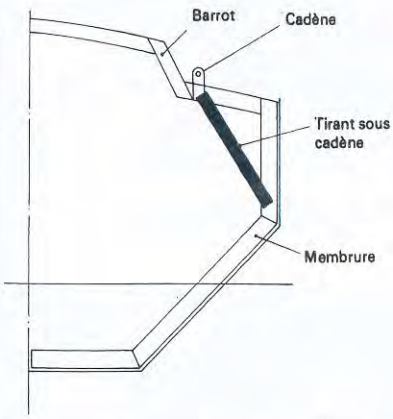
Croquis C 115 : *Varangue.*



Croquis C 117 :
Schéma d'une structure sur membrures. Bateau fictif.



Croquis C 116 :
« Tirant » sous une cadène



Croquis C 118 : *Schéma d'une structure sur lisses sur un bateau fictif.*

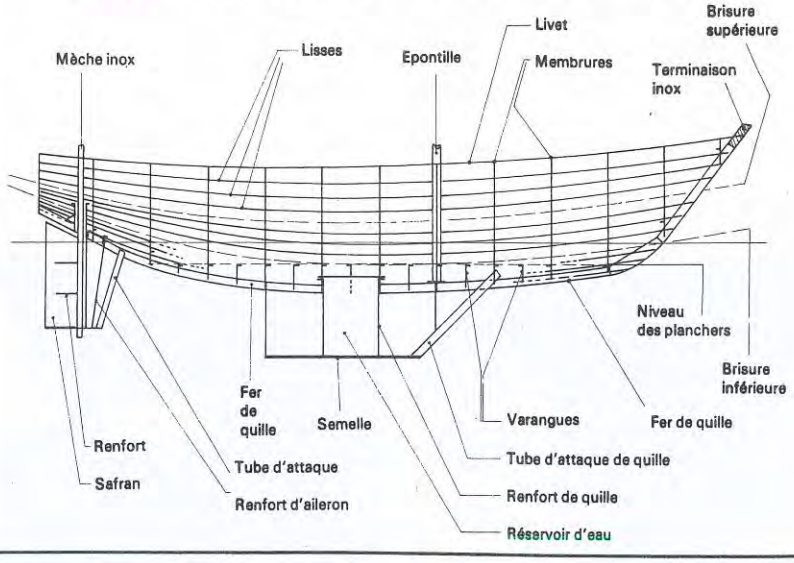
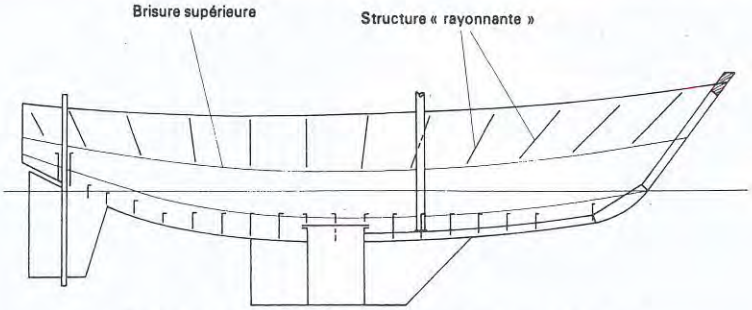


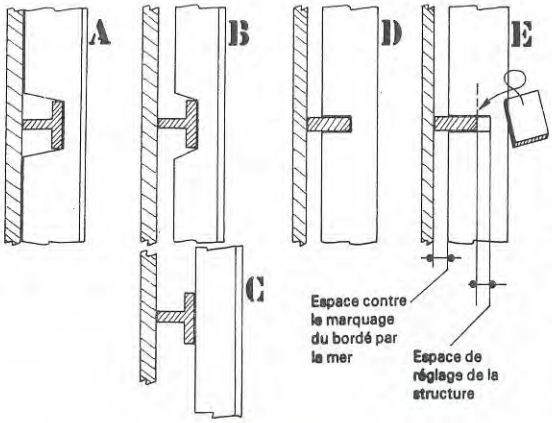


Photo C 70 :
Construction sur membrures à bouchains vifs

Croquis C 119 : *Panneau de bordé raidi par une structure rayonnante.*



Ce type de renforcement peut être combiné à des membrures ou à des lisses.



Croquis C 120 :
Liaison de la lisse à la membrure

- A = La membrure touche le bordé. Ce système mixte se rapproche d'un carlingage.
- B = Floating-system avec encastrement de la lisse en T dans une membrure en L.
- C = Même système sans l'encastrement. La membrure n'est ainsi pas entaillée.
- D = Lisse en fer plat encastrée dans une membrure en fer plat. Un espace entre la membrure et le bordé évite les points durs et confère sa souplesse au système.
- E = Système affiné. J'ai mis au point ce réglage de la structure par un second espace (de réglage) creusé dans la membrure. Ceci permet de régler très vite le bordé et la structure d'un bateau à l'unité.

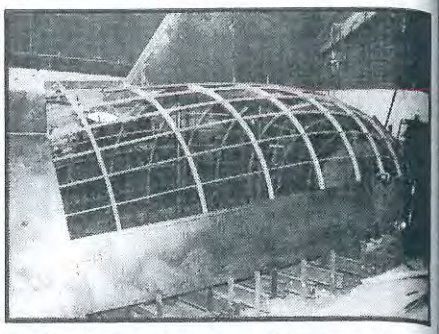


Photo C 72 : *Structure en formes sur lisses. (Photo M. Guilloteau).*

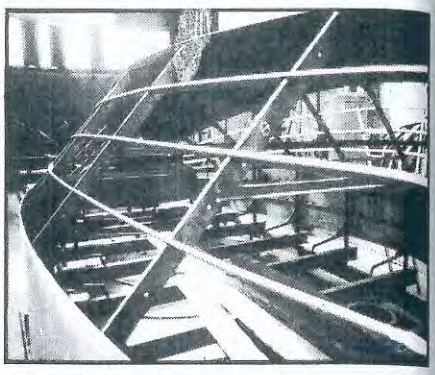
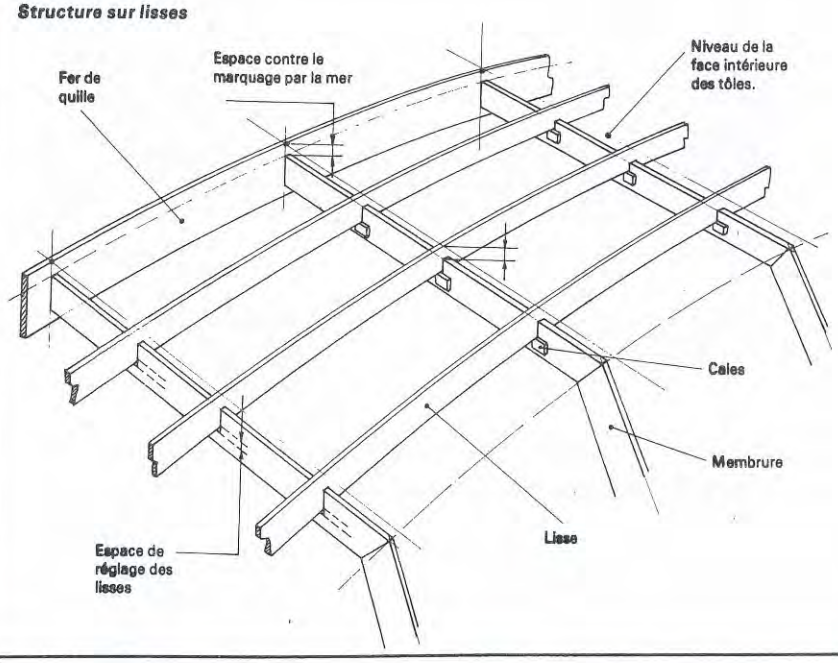


Photo C 73 : *Encastrement des lisses dans les membrures. Notez les trous dans les membrures pour fixer les tasseaux de vaigrage. Ces trous pourraient être plus près du bord.*

Croquis C 121 :
Structure sur lisses



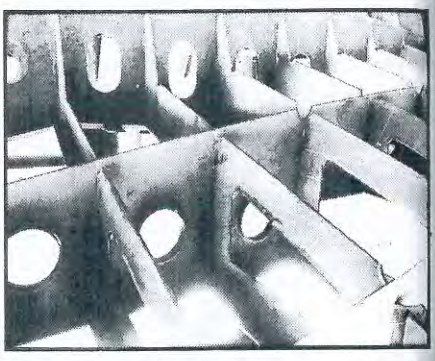


Photo C 74 : *Détail des varangues en construction carlinguée au chantier Glehen.*

Photo C 76 : *Détail des varangues. (Form'Océan).*

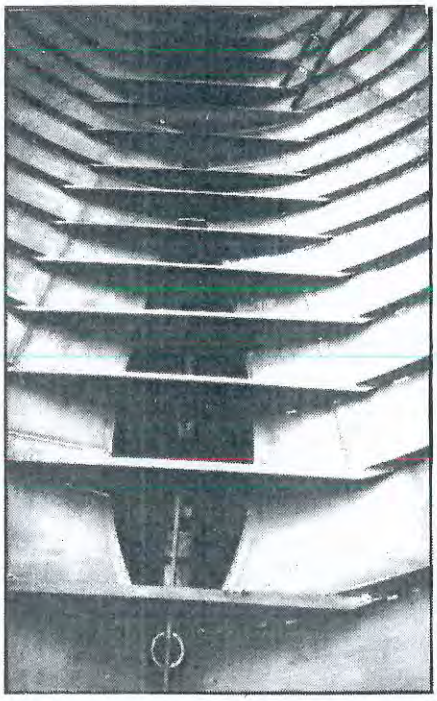
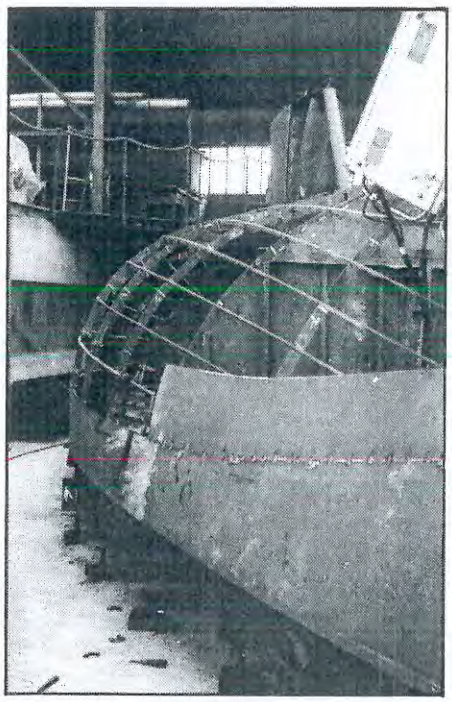


Photo C 77 : *Cloison étanche et structure sur lisses, en formes.*



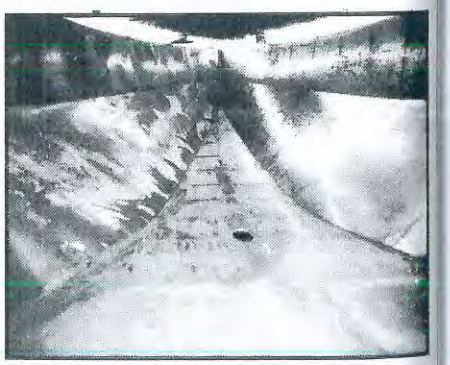


Photo C 75 : *Le « grand vide » d'une construction Strongall. Photo Méta.*

cadènes pour reprendre les efforts du haubannage. Mais en avant et surtout vers l'arrière, on peut les espacer davantage. Les couples étant légers, et surtout les lisses étant de faible section, on constate que les éléments longitudinaux *« flottent »* entre deux éléments transversaux. Leur courbure n'est pas régulière, pas sûre ! Le bateau étant construit à l'envers, les lisses du panneau de fond sont sur chant. Elles *« se tiennent »* à peu près bien. Mais les lisses des autres panneaux sont sur le côté et, surtout si elles sont en fers plats, elles forment des *« guirlandes »* pitoyables entre les couples.

Surtout si on prend l'habitude de poser les pieds sur les lisses pour escalader le bateau lors du bordage et de la pose de la quille.

Pour éviter cela, il faut resserrer les couples. Mais ce faisant, on augmente le poids du bateau !

Il faut donc dessiner le bateau avec les couples dont il a réellement besoin et dessiner entre eux les profils (et les cotes de construction) de faux-couples qui ne resteront pas dans le bateau.

Exactement comme on le fait pour bien prolonger les formes de l'arrière du bateau au-delà du tableau arrière.

Voyez ce chapitre.

FAUX COUPLES

Entre les couples de construction qui vont demeurer dans le bateau pour en constituer la structure définitive, on va donc construire des couples qui vont guider les lisses et assurer la parfaite géométrie du bordé. **Deux méthodes pour construire ces couples qui ne sont que provisoires :**

- les réaliser dans des fers de récupération, plats ou cornières, droits mais de piètre qualité, rouillés ou légèrement voilés.
- les réaliser dans des panneaux d'aggloméré ou de contre-plaqué de 15 à 19 mm. Voyez dans le numéro Hors-Série 4 sur le bois, la façon de tracer et découper de tels couples. Dans un cas comme dans l'autre, les couples provisoires, ou *« faux couples »* sont tracés exactement comme les autres, à savoir :
- à 1 cm du bordé, pour la membrure.
- avec les encoches du passage des lisses.
- avec l'espace permettant de mettre en place le fer de quille là où il existe.
- avec le barrot complet touchant le profil de pont. On peut déjà dans de tels couples découper les encastrements des lisses de pont.

Ces faux couples sont renforcés par des éléments transversaux pour ne pas se voiler ni se tasser.

Couples définitifs et *« faux couples »* sont mis en place sur le marbre de la même façon décrite par ailleurs dans ce manuel de construction.

Le fer de quille est posé avant les lisses. Les lisses passent par les encoches des couples définitifs et provisoires de la même façon sans y être pointées ni contraintes, d'une façon naturelle. La même méthode de réglage des lisses y est respectée avec un niveau d'encastrement théorique et une cale de réglage. Lors du bordage, les lisses sont réglées par rapport aux tôles et jamais l'inverse. Les lisses sont libérées de l'avant et de l'arrière où elles étaient simplement retenues avec une ficelle ou un fil de fer.

Les tôles du bordé sont pointées très sérieusement les unes aux autres et liées à la structure.

Puis le bateau est retourné, sa quille ayant été posée, ainsi que l'aileron de gouvernail s'il y en a un, avant le bordage des tôles.

Après retournement, les faux couples sont démontés et enlevés si la tenue du pont ne nécessite pas leur présence. Et c'est vrai que la présence d'un roof raidit le pont et ne nécessite pas autant que la coque la présence de ces faux couples.

En cas contraire, on laisse les faux couples jusqu'à et y compris le bordage du pont et du roof.

Les faux couples sont démontés et enlevés. Ils peuvent avoir été conçus en plusieurs parties boulonnées si on désire les réutiliser pour d'autres bateaux du même modèle. Sinon, ils sont coupés à la tronçonneuse (en fer) ou à la scie sauteuse (couples en bois) et sortis par morceaux.

Cette méthode, si elle donne un peu plus de travail, est la seule qui garantisse :

- que les formes du bateau seront respectées à la construction.
- que le retrait du soudage sera homogène et harmonieux sur l'ensemble du bateau sans les déformations locales qu'une structure transversale trop espacée de place en place laisserait craindre. Même si par ailleurs, il est tout aussi exact d'affirmer que souder un bordé sur membrures est plus délicat que le soudage d'un bordé sur structure longitudinale dite *« Floating System »*. Justement grâce à l'aspect *« flottant des lisses et à leur répartition progressive des contraintes »*.

Cette astuce qui consiste à compléter la structure porteuse par des faux couples de construction provisoire est la seule qui permette de bien réaliser des petites unités à voiles ou à moteur de 7,50 m à 9 ou 10 m lorsque ces unités présentent des espacements entre couples transversaux supérieurs à 1,50 m. *(Photos C 70 à C 77. Croquis C 112 à C 121).*

Si vous avez l'aventure dans la tête et le bateau dans le cœur abonnez-vous aux mensuels Loisirs Nautiques. Chaque mois chez vous le 10, des articles techniques, des récits de croisières.

18

DES EXEMPLES DE CONSTRUCTIONS, DE STRUCTURES ET D'ECHANTILLONNAGES

Voici quelques exemples de structures et d'échantillonnages qui vous donneront une idée précise des constructions réalisées en acier dans les années 80 et même vous renseigneront sur l'évolution depuis 1970 jusqu'en 1983.

« Red White and Blue » était une petite goélette à voiles carrées qui traversa l'Atlantique Nord en 1886, des Etats-Unis jusqu'à Margate en Angleterre. Son équipage était composé de deux Américains, Hudson et Fitch. Elle mesurait 8,40 m et était en *« Fer »*, car on ne parlait pas encore d'acier en 1886 !

Voyons maintenant nos exemples, par ordre alphabétique, des bateaux dont j'ai pu me procurer suffisamment de données certaines. Par contre, le poids annoncé n'est souvent pas le déplacement en pleine charge.

Chatam : Acier E 24.2. Cotre à double bouchain. Longueur 9,55 m à 10 m ; longueur à la flottaison 7,80 m ; largeur 3,35 m ; poids 4.660 kg ; tirant d'eau 1,40 m ; lest quillard 1.300 kg, quille comprise.

Coque et pont en 3 mm ; quille en 6 mm ; 12 membrures en plat de 60 × 6 et barrots de 30 × 8 ; toutes lisses en 30 × 6. Fer de quille en plat de 80 × 6. Plans Caroff.

Club Méditerranée : 1970. Trois-mâts d'*Alain Colas*. Architecte *Bigoin*. Longueur 71,50 m ; longueur à la flottaison 65 m ; bau 11 m. Déplacement 280 tonnes. Lest 80 tonnes. Coque en forme construite en onze éléments de 5,50 en moyenne. Etrave et voûte arrière rapportées. Structure mixte avec une cinquantaine de couples porques en tôle, avec bord rapporté ; 24 lisses en L ; cloisons étanches ; carlingue centrale et varangues en tôles pliées. Le lest se composait lors de la conception de 55 tonnes d'uranium, 15 tonnes de plomb et 10 tonnes d'acier.

Damien IV (acier) : Cotre à double bouchain de *J.-F. André*. 1979-1980. Membrures en fers plats 60 × 8 ; barrots 50 × 6 ; lisses 40 × 6 ; allonge de quille 80 × 8. Tôles de pont et bordé supérieur 3 mm. Fonds 4 mm. Quille en 5 et 6 mm. Bateau dessiné pour *Gérard Janichon*.

Dériveur Hood : Plan de *Ted Hood* en 1968, extrapolation de Robin, son half-tonner de 30 pieds, en 1967, à deux dérives latérales, lui aussi en acier. Longueur 14,63 m ; longueur à la flottaison 10,68 m ; largeur 3,98 m ; tirant d'eau 1,30 m/3,40 m. Poids 16,5 tonnes dont 5,13 tonnes de lest dans les fonds. Coque en forme dessinée pour l'Admiral's Cup de 1969. Construction sur lisses.

Exploration : Plan *Caroff* de 1980-81. Quillard à double bouchain ou dériveur à fond plat. Longueur 11,35 m ; bau 3,95. 10 membrures à fers plats de 80 × 8 et barrots de 60 × 8. Lisses en plat de 30 × 8 dont, pour chaque panneau de bordé, deux près des brisures pour *« tenir »* les tôles. Fer de quille 80 × 8. Quille

en 5 et 6. Bordé et pont en 3. Fonds du quillard en 4. Fonds du dériveur en 4 et 10 mm. Puits de dérive en 5 mm. Acier E.24.2, bordé sur lisses réglables. Dossier de plus de 130 plans. Sloop ou cotre, voire ketch.

Fantasia : Vedette en acier de style typique en Hollande, à simple bouchain. Acier *Siemens-Martin* sablé et shoopé. Tôles de 3 mm pour le pont, 4 et 5 mm pour la coque. Construction sur membrures. Longueur 10,80 m ; largeur 3,25 m ; tirant d'eau 0,95 m. Moteur *Volvo* de 106 cv diesel. Poids 7 tonnes. 1970.

Flot 18' : Un des rares petits bateaux en acier dessinés en France. Plan *Langevin* de 1971-72. Coque et pont 2,5 mm en acier E.36 sur porques et membrures en L de 60 × 40 × 5. Quille en 2,5 avec semelle de 5 mm. Les lisses sont en fers plats. La coque à double bouchain est bordée sur les lisses. Il existe diverses versions de ce bateau, en acier, puis en aluminium.

Flot 40' : Un des derniers bateaux dessinés par *Langevin* pour la construction amateur dans les années 74-75. Coque à double bouchain bordée sur lisses. Pont en 2,5 et 3 mm. Coque en 3 et 4. Quille en 5, 6, et 10 mm. Membrures en L de 60 × 40 × 5 ; barrots en T de 40 × 40 × 5. Lisses en T de 40 × 40 × 4. Fer de quille en plat de 120 × 10. Poids de la coque pontée voisin de 4.100 kg. Acier E.36. Longueur 12,07 m. Largeur 3,65 m ; poids 7,5 tonnes ; lest 2,3 tonnes.

Fruit de mer : Sloop en formes dessiné par *Joubert et Nivelt* pour le chantier Form'Océan. La coque est bordée sur 18 membrures en 40 × 6 et 1 couple porques en plat de 60 × 8. Barrots en plat de 40 × 4. Tôles de coque en 3, 4 et 5. Pont en 3 mm. Puits de dérive en 4 mm. Fer de quille en 70 × 10. Ce dessin date de 1980-81.

Gael 10,10 : Plan *Bernard Veys* des années 78-80. Coque à double bouchain et fond plat en 3 mm ; quille en 4 et 8, bordée sur lisses en fers plats de 30 × 4. Membrures en plats de 60 × 6 et barrots en plats de 50 × 5. Varangues en tôles pliées de 5 mm. Longueur 10,05 m.

Goodwin : Ce one tonner dessiné vers les années 67, à l'époque du R.O.R.C., avait une coque en formes construite en acier de 3 mm et la particularité d'avoir un pont en polyester moulé. Longueur 11,18 m ; longueur à la flottaison 7,97 m ; largeur 3,10 ; tirant d'eau 2,13 m ; poids 5,5 tonnes dont 2,50 tonnes de lest ; avec une voilure de 65 m².

8 m acier : Plan *Caroff* des années 1975-1976. Coque et pont en 3 mm. Quille en 4 mm avec une semelle en 10. La coque à double bouchain est bordée sur les lisses en plats de 30 × 6 et six membrures en plats de 60 × 6 avec barrots en 40 × 6. Déplacement de 3 tonnes lège, avec moteur in-bord. Longueur 8,20 m ; largeur 3 m ; voilure voisine de 40 m². Acier E.24.2.

J.N.F. 38 : Dériveur lesté conçu par *Joubert et Nivelt* avec *Joseph Fricaud* du chantier Méta, ce bateau, construit en E.24.2 est bordé sur lisses. Tôles de pont en 3 mm ; bordé en 3 et 4 mm ; quille en 6 mm. Membrures en 80 × 6, barrots en 60 × 6, lisses en 40 × 6. Longueur 11,95 m ; largeur 3,82 ; poids 11.500 kg en charge, dont 3.400 g de lest. Dérive en tôle de 180 kg.

Joshua : Célèbre ketch mis en vedette par *Bernard Moitessier* autour du monde. Dessiné à la fin des années 60 par *Jean Knokker* pour la construction en bois moulé à l'origine. Coque bordée à clins, construite en formes au chantier *Méta*, en tôles de 4 et 5 mm, sur des membrures en 50 × 6 espacées de 51 cm. Pont en 3 mm. Bordé sur membrures. Longueur 12,07 m au pont ; flottaison 10,43 m ; largeur 3,68 m ; poids 14 tonnes dont 3.500 kg de lest ; tirant d'eau 1,60 m.

Lex : Goélette à double bouchain bordée sur lisses 30 × 8 et 13 membrures en 80 × 10 avec barrots également en plats de 60 × 10. Varangues en plats de 80 × 10 et L de 50 × 50 × 5. Pont à roof ou à salon de pont en 3 mm. Bordés en 3, 4 et 5 avec quille en 6 mm. Semelle en 15 mm. Fer de quille en 100 × 10. Mèche de gouvernail inox diamètre 60 mm. Cadènes inox en 10 mm.

Madaillan : A peine moins connu que *Moitessier, Loïc Fougeron*, grand nostalgique devant l'Eternel des bateaux de style Colin Archer, se faisait construire en 1972 un ketch norvégien dessiné par *Louis G. Van de Viele*. Chantier *Michot*, en Belgique. Acier Siemens Martin. Bordé en 4 et 5 avec pont en 4 et 3. Il s'agit naturellement d'une construction sur membrures, espacées de 40 cm. Longueur 12 m au pont ; longueur à la flottaison 10,30 m ; largeur 3,60 m ; Tirant d'eau 1,80 m ; poids 14 tonnes dont 4,3 tonnes de lest.

Marken 34 : Autre half tonner de la fin de l'époque du R.O.R.C., dans les années 65-70. Un plan de l'architecte anglais *Buchanan*. Coque et pont en 3 mm ; quille en 4 mm. Roof et zones de pont moins travaillantes en 2,5 mm. Coque en forme très élancée. Longueur 10,35 m ; flottaison 7,30 m ; largeur 3,12 m ; tirant d'eau 1,75 m. Poids 5.100 kg avec un moteur de 20 cv... en course !

Mowgli : Présenté au public lors d'un concours de plans de bateaux de croisière, ce plan de *Georges Auzépy-Brenneur* montrait une goélette élégante avec une quille longue et un safran en bout de quille faisant de *Mowgli* la fin d'une époque. Bordé en formes de 3,5 à 7,5 mm. Semelle de quille en 10 mm. Acier Martin avec zingage à froid par peintures saturées en zinc appliquées au pinceau. Construction sur membrures. Le pont en 2,5 mm est recouvert de lattes. Elles étaient boulonnées à travers les tôles de pont.

Longueur 13,17 m ; largeur 3,76 m ; tirant d'eau 1,70. Poids 11 tonnes dont 3,5 tonnes de lest en grenaille d'acier bloquée, selon l'ancienne technique, par du ciment. Maintenant, on met plutôt de la résine à l'eau.

Oxygène : Dessiné par *Joubert et Nivelt* pour *Form'Océan*, ce cotre présente une coque en forme en tôles de 4 et 5 mm, avec pont en 3 mm sur des membrures en 50 × 6 (plats) et barrots en plats de 50 × 5 plus un couple porque de 60 × 8. Les fonds sont en 6 ainsi que le puits de dérive. Le fer de quille est en plat de 80 × 12 bordé soudé bord à bord.

Pessoa : Pont acier E.24.2 en 3 mm. Coque en 3 mm avec fonds en 6 et 3 mm ; membrures en 60 × 8. Le tout en fers plats. Il s'agit d'une construction sur lisses réglables. Une des premières de ce type, appelé « *Floating System* ». Longueur 10,45 m ; largeur 3,70 m. Poids lège 7 tonnes dont 3.300 kg de lest, et 200 kg pour la dérive pivotante en bois.

Rêve d'Antilles : Plans Finot. Créé en juin 1970. Construction à double bouchain sur lisses en T de 30 × 30 × 4. Cinq cloisons étanches de 3 mm et cinq couples porques en L de 80 × 50 × 6 constituaient sa structure d'origine revue et simplifiée ensuite. Tôles de pont en 3 mm ; coque en 3 et 4 mm. Acier E.26.2. Longueur 11,70 m ; largeur 3,80 m ; tirant d'eau 1,70 m. Déplacement 9 tonnes dont 2,7 tonnes de lest. Voilure cotre ou ketch, de 78 à 80 m².

Rêve des Tropiques : Grand frère et héritier du « *Rêve d'Antilles* », ce cotre, ketch ou goélette, est une coque à double bouchain bordée sur lisses en T 30 × 35 × 4 avec couples porques transversaux en L de 80 × 60 × 7. Le pont est en 3 mm, les bordés de coque en 3, 4 et 5 mm. Poids en charge 13 tonnes dont 4 tonnes de lest. Longueur 13,10 m ; largeur 4,25 m. Tirant d'eau du quillard 1,80 m ; il existe une version à dérive. Voilures sloop, cotre, ketch et goélette de 148 à 170 m².

Seabird : Cotre, dériveur à fond plat et dérive en bois construit selon les méthodes traditionnelles hollandaises sur membrures en L. Longueur 12 m ; largeur 3,85 m ; tirant d'eau 0,90 et 1,90 m ; voilure 86 m² ; déplacement 11.000 kg dont 3.000 kg de lest. Pont et bordé en 3 mm ; fonds en 4 mm ; semelle en 10 mm. Construction en acier patinable Cor-Ten. Plan *Caroff* de 1976-1977.

Tina : Célèbre bateau entre tous pour ses performances sous la jauge R.O.R.C. en half ton. *Tina* est un développement de *Rabbit* dont je parle au chapitre sur les petits bateaux en acier. Sa coque en formes était bordée sur membrures en tôles de 3 mm. L'architecte concepteur de Tina en 1965 racontait la création de ce bateau : « *Tina représente une évolution naturelle de Rabbit, ma première tentative de dessin de voilier. Rabbit était uniquement un bateau de course... L'idée était que la vitesse pure était plus importante que les performances au près serré... En course au large, on accorde trop d'importance à la remontée au vent en sacrifiant la vitesse aux autres allures. Lorsque M. E.R. Stettinus me demanda de lui dessiner Tina... quel problème il me posait !*

Il désirait un bateau de croisière confortable. Habitant en Hollande, il voulait participer à des courses du R.O.R.C. dont la One Ton Cup au Danemark... Cela semblait être un programme impossible... Cependant, une certaine corrélation entre ces différents aspects me vint à l'esprit.

Qu'il s'agisse de course ou de croisière, on recherche une bonne vitesse pour un effort physique minimum. L'équation de Tina devint : maximum de vitesse pour minimum d'énergie (1965 !).

Rabbit, avec ses caractéristiques de base, bau important... marchait magnifiquement en mer. C'est la vieille section en forme de verre à vin. Elle donne aussi le minimum de surface mouillée pour le déplacement. Pour Tina, je donnais moins d'importance à la vitesse au vent arrière et ajoutais un peu plus de volume en arrière du milieu pour améliorer les performances au près. Le safran placé à l'arrière, cette chose merveilleuse (c'était nouveau) fut conservé. Les avantages d'une petite grand-voile... à bôme courte sont nombreux. Le mouvement pendulaire est réduit... Le principal avantage du gouvernail séparé est bien sûr la douceur de barre... Tina, comme Rabbit, a été construit en acier... Pour un déplacement donné, plus la coque sera légère, plus il y aura de plomb dans la quille. J'ai choisi l'acier pour plusieurs raisons. Il donne un bateau monocoque, solide, qui fournit une excellente plateforme pour supporter le gréement. Il donne également plus de volume pour les aménagements... Le R.O.R.C. encourage (encourageait !) les coques solidement construites, ce

qui semble normal pour des bateaux devant naviguer au large. Il n'encourage(ait...) pas les forts rapports de lest. C'est un exemple des libertés impliquées dans la jauge du R.O.R.C. ».

Certains *Tina*, comme « *Esprit de Rueil* », furent bordés en tôles de 4 mm. Certains eurent un pont en contre-plaqué de 15 mm. Les poids varient de 6.500 kg à 6.100 kg, et les lests de 2.000 à 2.100 kg.

Longueur 11,25 ; largeur 3,29 m ; tirant d'eau 1,88 m ; voilure au près 65 m². Le changement de jauge a relégué de telles machines au rang de bateaux de croisière.

Troll Mk 3 : A son origine en 1969, le *Troll* était un cotre ou un ketch à double bouchain en tôles de 4 mm et pont de 3 mm. La coque aux brisures arrondies au tas était bordée sur lisses en L de 50 × 50 × 5, sur des couples porques en L de 70 × 40 × 5 et des cloisons en 4 mm avec renforts en plats de 40 × 4. Ces éléments transversaux étaient espacés de 1 m environ.

Une carlingue centrale en 15 mm (fer de quille) renforçait le tout. Varangues en tôles pliées de 5 mm. Bords tombés de 50 mm de large. On dit « *bord tombé* » ou « *bord plié* ». Lest 2.600 kg plus une tôle de quille en 20 mm.

L'un d'eux, le ketch « *Marclo 3* », s'était mis sur des rochers à l'entrée de Cherbourg, le 13 août 1970. Vent de force 6. Creux de 2,50 m à 3 m. Mâts brisés contre la digue. Déformation du bordé. Tôle de fond percée sur 10 cm de long et 3 à 4 cm de large au niveau des réservoirs de fuel.

Les déformations plastiques atteignaient 35 cm de profondeur, sur 1 m de long environ, entre deux membrures. Livet de pont déformé sur 4 m en plissant la tôle de pont. Cinq varangues « *tordues* » jusqu'à 7 ou 8 cm de dévers. Quatre couples porques « *tordus* ». Les lisses étaient rentrées sur 3 à 4 mètres le long du panneau de bouchain moyen et de 2 à 3 cm dans les fonds. L'acier était construit en acier Marinor, c'est-à-dire en E.36.

Bel exemple de résistance des coques en « *floating system* », par rapport aux anciennes constructions caissonnées. A peu près le même accident, et les mêmes résultats ont été remarqués sur un *Vulcain I*, des chantiers *Brument* vers 1975. Là, le bateau avait été abordé par un cargo. Aucune fuite n'avait été créée. Le pouvoir de l'acier à accepter ces déformations plastiques est un énorme avantage dû à sa haute limite élastique.

Version modernisée du *Troll*, le *Troll Mk 3* mesure 13,50 m de long ; 4 m de large ; tirant d'eau 2-m ; poids 11 tonnes dont 3,4 tonnes de lest. On peut dire que le type de structure du *Troll* s'apparentait au « *floating system* » et à la construction mixte, pour tendre au fil des années vers la première solution.

Vanguard I : Modèle hollandais typique des années 70 à simple bouchain encore sur membrures. Coque en 3 et 4 mm, avec semelle de quille en 7 mm. Longueur 8,40 m ; largeur 2,70 m. Poids 3,500 kg.

Vagabond'eux : 1978. Cette unité trouve sa place ici parce que son programme particulier d'expéditions polaires en fait une expérience passionnante. Couronnée par le succès de ses navigations en Manche, Atlantique Nord, mer du Groënland, mer de Baffin. Ce ketch dû au crayon de G. Caroff est le voilier qui s'est approché le plus près du Pôle Nord par la côte Est du Groënland. Le record de la côte Ouest appartient aussi à *Kurbiel* sur son *Chatam Vagabond I*. C'est aussi le premier voilier à s'être approché à 50 milles du

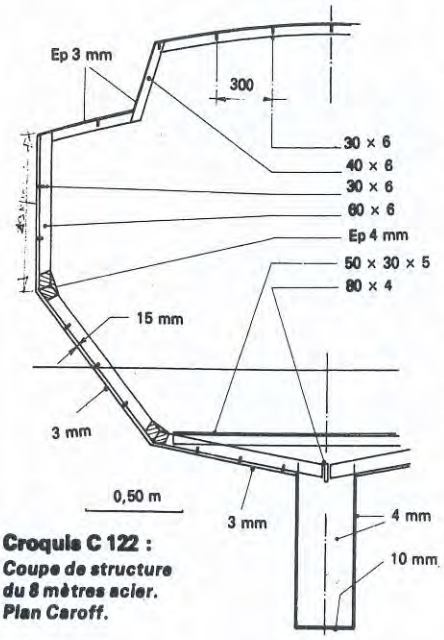
Caractéristiques comparées de quelques voiliers en acier

NOMS	L	LFL	B	T.E	Poids	Lest	SV	Moteur	Version
WIBO 740	740	630	225	105	2.200			HB	Q
Listang	764	590	250	120	1.300	260	25	HB	Q
Sneekermeer	800		245	100	3.000	1.000	23	HB	Q
Flot 18	810	640	292	156	1.900	700	35,5	HB	Q
Wibo 820	820	640	274	105/125	3.800	1.200	34	HB	Q
8 m acier	820	620	300	120/150	2600	1000	37	HB	Q
Wibo 835 « Populair »	835	650	278	100	3800	1250	34	HB	Q
Van de Stadt 29	870	680	290	155	3800	1500	47	8	Q
Doggerbank	920	720	320	150	5500	1500	57	15	Q
Noordvaarder	920	—	265	110	—	1500	37	15	Q
Wibo	930	710	294	110/138	4650	1550	44	15	Q
Ferrazur 30	930	750	315	140	4500	—	43	15	
Defer 31	935	763	330	100/220	6500	1700	5550	—	DL
Wibo « Populair »	945	730	298	120/142	4750	1650	4450	20	Q
Chatam Q	955	780	335	140/160	5500	1300	68	20	Q
Chatam D	955	780	335	070/200	6000	1800	68	15	D
Quasar	965	760	334	150	5300	1400	67	15	Q
Chant des Iles	995	830	350	070/220	5000	1800	62	—	D
Pineau	1000	780	350	140	6500	1500	63	20	Q
Gael 1010	1005	860	350	100/190	5200	1800	6250	15	DL
Atoll 1010	1010	855	337	095/200	6200	1900	57	20	DL
Vulcain 5	1020	820	360	150	5500	1500	80	20	Q
Vulcain 5 D	1020	820	360	070/200	6000	2000	80	15	D
Rabbit	1021	735	308	145	4500	1700	4250	—	Q
Albion	1045	815	370	140	6520	2150	82	20	Q
Albion-Pessoa	1045	815	370	090/218	7000	3300	82	20	D
Oréade	1050	830	308	150	9000	2800	57	30	Q
Fruit de mer	1067	910	378	080/235	7000	3000	7330	30	DL
Atch	1070	880	365	110/220	8800	2200	72	30	DL
Damien 4	1098	920	370	065/240	7000	2500	—	—	DL
Van de Stadt 36	1100	870	354	190	9250	3300	80	25	Q
Wibo 1100	1100	850	339	180/155	7470	2750	7120	25	Q
Goodwin	1118	797	310	213	5550	2500	65	—	Q
Tina	1125	812	329	188	6500	2000	65	—	Q
Exploration	1135	900	395	150/170	8800	3000	110	30	Q
Exploration D	1135	900	395	100/220	8900	3500	110	30	D
Rêve d'Antilles	1170	890	380	170	9000	2700	98	35	Q
Petit Prince	1180	940	395	180	11500	3000	85	35	Q
J.N.F. 38	1195	1000	382	110/245	11500	3400	83	40	DL
Ile Disko	1198	950	415	160	10500	3500	120	35	Q
Ile Disko D	1198	950	415	110/220	11000	4000	120	35	D
Flot 40	1207	960	365	160	7500	2300	84	40	Q
Oxygène	1240	1060	428	075/250	12000	4500	120	50	DL
Vagabond'eux	1290	1072	430	110/240	20000	6000	125	2 × 35	D
Kif	1310	1050	408	160/250	12500	5000	99	50	DL
Rêve des Tropiques	1310	—	425	180	11000	4000	150	50	QD
Achill	1340	1080	425	180	12000	3500	93	50	Q
Endurance 44	1340	1020	399	190	15000	4000	125	55	Q
Quartz 44	1340	1150	420	135/250	14000	5000	134	60	DL
Makima 2	1404	1140	450	115/280	14000	5500	130	60	D
Damien 2	1414	1230	440	080/308	18000	4500	186	70	QR
Lex	1420	1100	470	185	15000	4500	180	60	Q
Gael 1450	1450	1250	470	190	14000	3900	132	55	Q
Hood 1463	1463	1068	398	130/340	16500	5130	92	—	DL
Etac 48	1470	1200	480	220	16000	4000	122	55	Q
Charlot 49	1495	1262	452	090/340	18000	4000	200	85	QR
Presles 49	1495	1160	420	210	16500	5000	131	55	Q
Van de Stadt 50	1500	1250	460	220	18200	6000	139	50	Q
Trirème 50	1563	1282	465	230	18500	—	138	50	Q
Jongert 16 S	1730	1185	453	210	—	—	155	86 kw	Q
Nordia 51'	1750	1250	450	210	30000	—	155	120	Q
Jongert 22 D	2320	1655	580	280	—	—	290	174 kw	Q
Nordia 83'	2500	1950	600	300	90000	—	350	300	Q
Xargo 2	3500	2900	780	450	144000	30000	778	2 × 425	Q
Club Méditerranée	7150	6500	1100	550	280000	80000	1000	—	Q
Belem	5100	—	880	350	150000	250000	1300	2 × 300	Q
France 2	12875	—	—	—	5633 tx	—	—	—	Q
Atlantic	5700	4176	884	463	303000	—	1720	—	D

QUELQUES VEDETTES A MOTEUR EN ACIER

Ces vedettes sont toutes du type semi-planant à fond en V.

Nom	Longueur	Largeur	Poids	Puissance maxi.
Doerak 850	850	310	5.000	50
Vedette 925	925	350	5.000	60
Doerak 950	950	310	5.600	63
Vedette 1050	1050	370	6.000	70
Marak 1060	1060	340	8.800	70



Croquis C 122 :
Coupe de structure du 8 mètres acier. Plan Caroff.

Pôle Nord magnétique, et un des rares à s'être sorti à peu près indemne de l'emprise des glaces. Conçu pour une charge utile de 6 tonnes faisant varier le poids de 16 à 22 tonnes, *Vagabond'eux* a ensuite été surchargé à près de 30 tonnes, ce qui est énorme pour un dériveur de moins de 13 m. Soit 25 cm d'enfoncement. Il s'agit d'un dériveur intégral à fond plat à double bouchain et étrave « *brise-glace* ». La coque est bordée sur lisses en L de 35 × 20 × 3,5, membrures et barrots en L de 60 × 40 × 5, varangues en tôles pliées de 5 mm avec un bord plié de 50 mm. Le pont est en 2,5 et 3 mm. La coque en 3 et 4 mm avec zones en 5 et renforts en 10. Le puits de dérive est en 5 mm et le fond plat en 10. La qualité d'acier retenue par le chantier *Brument* est l'E.36.3, acier à résilience. En l'arrière de l'étrave, on trouve une cloison étanche en 3 mm raidie par des L en 35 × 20 × 3,5 sur les deux faces. Cet ensemble très complexe conçu par le navigateur polaire *Janusz Kurbiel* a résisté à la pression de plusieurs dizaines de tonnes de la banquise, montrant les possibilités du matériau. La coque pontée pèse 7.000 kg. Longueur : 12,90 m au pont ; largeur 4,30 m ; tirant d'eau 1,10 à 2,40 m ; lest dans les fonds : 6.000 kg.

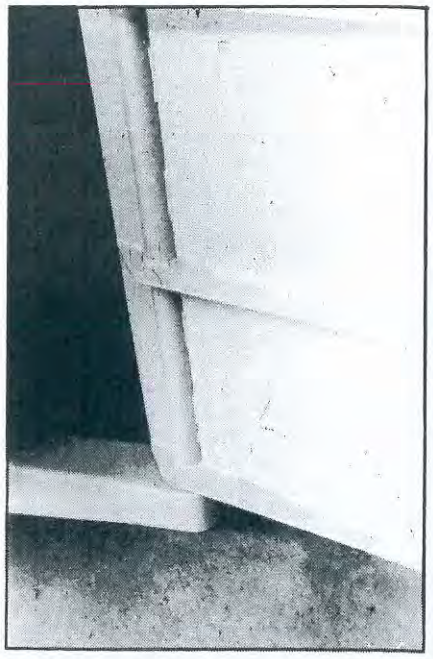
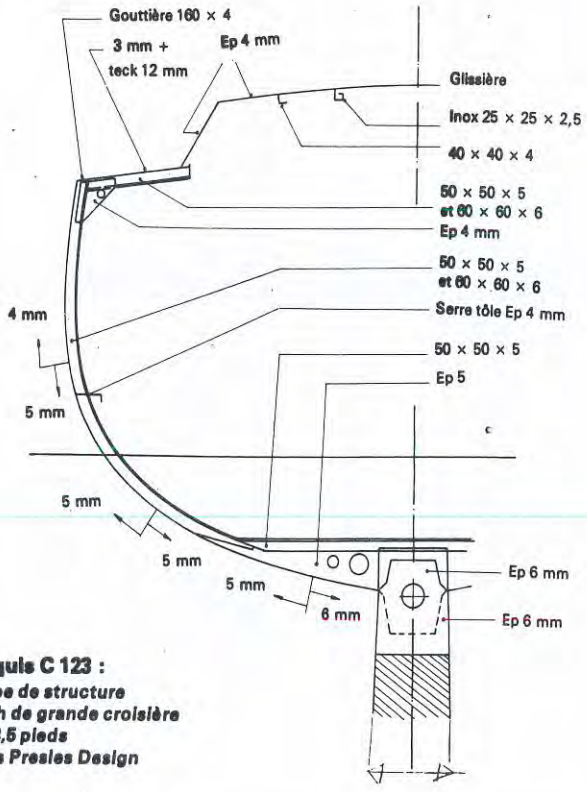


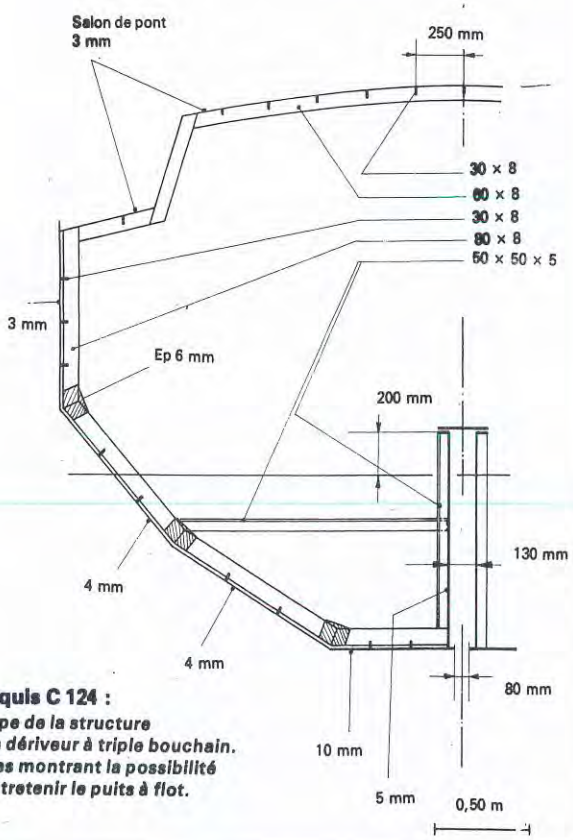
Photo C 78 : ***Safran à âme en tôle et renforts extérieurs pour un « Fidty » ou un bateau à moteur.***

Vedette de 12,50 m : Plan *Caroff*. Il s'agit d'une vedette à déplacement, non déjaugeante, à simple bouchain. Elle est bordée sur membrures selon une technique rare par chez nous. Les membrures sont en plats de 50 × 8, espacées de 45 cm. Barrots en plats de 50 × 5, varangues en 50 × 50 × 5 et tôles pliées de 5 mm. Le pont et les superstructures sont en tôles de 3 mm ; le bordé en 4 et 5 mm ; la quille en 10 mm ; on note deux cloisons en 3 mm.

Longueur 12,50 m ; largeur 4,25 m ; tirant d'eau 1 m ; poids 9.500 kg avec deux moteurs de 100 cv. Vitesse avec un moteur de 100 cv : 12 nœuds. Conception en 1975.



Croquis C 123 :
Coupe de structure ketch de grande croisière de 48,5 pieds Plans Presles Design



Croquis C 124 :
Coupe de la structure d'un dériveur à triple bouchain. Cotes montrant la possibilité d'entretenir le puits à flot.

Vulcain 5 : Ce sloop, cotre ou ketch a été conçu en 1975 par le constructeur *Brument* et l'architecte *Caroff*. Il a la particularité d'être en semi-formes. Les tôles de 3 mm sont bordées sur les lisses en L de 35 × 20 × 4. Ces lisses reposent sur des membrures en plat de 70 × 10 avec un encastrement variable qui définit à lui seul le bombé du bordé. Les brisures sont arrondies au tas. Le fer de quille est en plat de 80 × 10 et on trouve 15 varangues en tôles pliées de 4 mm. Les barrots sont en U de 70 × 40. Ce bateau a l'autre particularité d'être également construit en acier doux « Galvadur », en inox 316 ou mixte, coque acier et pont inox. Le pont est en 2,5 mm dans les deux cas. La quille est en 4 mm avec une semelle en 8 mm. Un des plus légers bateaux en acier de sa taille, c'est tout de même une coque solide dont une unité a été flirter avec les glaces groenlandaises après les troncs de l'Amazone et les vagues de l'Atlantique Nord. Longueur 10,50 m ; largeur 3,60 m ; poids 5,5 tonnes dont 1,5 tonne de lest.

Xargo 2 : Terminons en beauté cette énumération d'exemples de structures par le superbe *Xargo 2*, de 35 m, sur plans *Bigoin* : 17 nœuds à la voile, 13 nœuds au moteur. 778 à 924 m² de voilure. Constructeur... usines *Dassault !*

La coque est construite en 7 mm acier. Longueur 35 mm ; largeur 7,80 m ; poids 144 tonnes dont 30 tonnes de lest en plomb. *(Photo 78. Croquis C 122 à C 125).*

19

« LEUR OPINION »

FRANÇOIS SERGENT

(Architecte naval I.F.A.N.)

« Dans le courant de ma longue carrière d'architecte naval, j'ai dessiné et fait construire un certain nombre de yachts, voiliers et vedettes en acier et en alliage léger, tant par des chantiers professionnels que par des amateurs.

J'en ai tiré une expérience qui me permet d'avoir quelques idées sur la valeur et l'usage de mes matériaux dans la construction navale de plaisance.

L'acier possède des qualités de robustesse et une relative facilité de mise en œuvre qui en font un excellent produit pour la construction d'unités d'un certain tonnage ; j'estime qu'il n'est guère possible de faire un bon voilier de croisière en acier d'un déplacement de moins de 8 à 10 tonnes, si l'on veut avoir un lest suffisant et assez de réserve de déplacement pour l'équipage, les vivres, l'eau, le fuel et tous les apparaux nécessaires dans des traversées un peu longues ».

DANIEL Z. BOMBIGHER

(Architecte naval)

« L'acier n'est pas mon matériau de prédilection, je le sens mal, l'aime mal ; un bateau en acier me met mal à l'aise, c'est une question de sympathie ou non avec un matériau... Ce n'est pas le mien du tout. Mais il n'empêche que je reconnais que cela peut être un très bon matériau, si, bien mis en œuvre et bien pensé, bien protégé... je dirai que par rapport à mes bateaux, c'est un excellent palliatif au bois, guère plus ! Car il m'amuse de dessiner des bateaux à caractère poétique, où il fasse bon vivre, pour le plaisir des yeux, du corps et de l'âme... où donc est la technique, mais où elle ne suffit pas, seule, comme motivation. Le but de mes bateaux est avant tout le plaisir de les construire, de les dessiner, de les posséder, de vivre à bord... Le bois et le bois moulé et lamellé a toujours eu ma préférence, et de très loin... L'acier m'a toujours semblé désagréable à dessiner, à travailler, et à vivre ! Je ne peux donc qu'exposer un point de vue marginal, aussi marginal que mes bateaux...

Comme il n'y a plus de roulottes de bohémiens avec des chevaux parce qu'il n'y a plus de plaines libres pour être nomade, à part pour quelques jours de vacances pour quelques touristes, la Mer est la dernière grande plaine libre, et les voiliers, les dernières roulottes possibles pour un état de nomade, je m'efforce donc de dessiner des bateaux dans cet esprit-là, avec du bois, des beaux matériaux, de la solidité et de la longévité, de la réparabilité par les seuls moyens du bord sans nécessité de chantiers spécialisés, trouvables seulement dans les eaux occidentales industrialisées... d'où mon peu d'intérêt pour l'acier en plus de mon peu de sympathie.

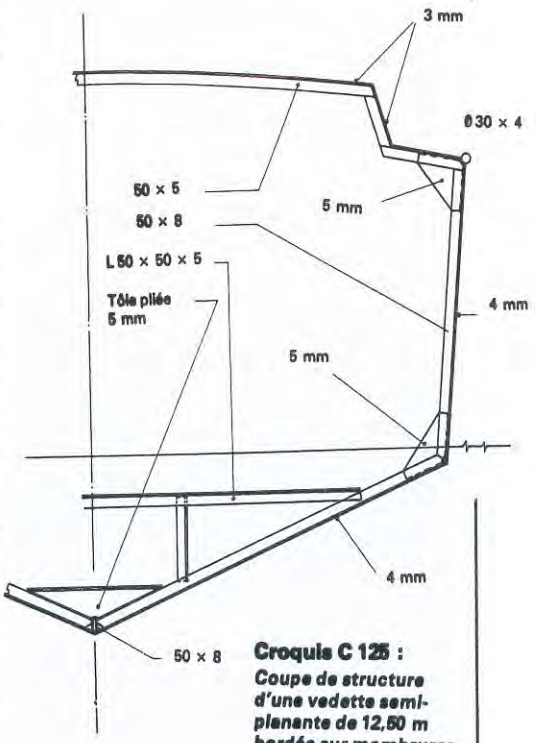
● **Je n'ai fait que trois plans en acier, et encore :** ces trois plans furent un peu spéciaux au sens où je voulais avoir les avantages de l'acier mais sans les inconvénients, avec les avantages du bois quant à l'agrément de vie... Ce ne furent donc pas des bateaux en acier habillés plus ou moins de bois, mais exactement le contraire, des bateaux en bois à caractère poétique, ayant seulement une enveloppe extérieure, une coque en acier, conçue de telle sorte que non seulement, on n'y voit pas l'acier, mais qui plus est, on ne *« sente »* même pas l'acier ! qu'on n'y voie et sente que le beau bois lamellé et massif, le bronze, le cuir, bref, de belles matières agréables à voir et à toucher pour vivre bien à bord de ces bateaux.

Au niveau plan, cela implique une recherche pour penser bois habillé d'acier à l'extérieur, et non pas acier habillé de bois à l'intérieur, donc une démarche architecturale inverse de ce qui se fait.

● **Au niveau construction, cela implique un prix de revient et des difficultés aussi compliquées, voire plus, que des bateaux en bois, avec coût de revient identique au bois moulé lamellé... donc sans intérêt sur le plan économique :** coques en formes et en formes fines, non développables, entièrement chaudronnées, très compliquées à réaliser, mais évidemment aussi jolies que des coques en bois... et... aussi chères, car en plus sablées intérieur comme extérieur aussi. Ces coques qui ont maintenant plus de 8 ans de service, et de service continu n'ont pas bougé, n'ont pas de corrosion, et dureront très longtemps.

La coque seule étant en acier, les ponts sont en bois sur charpente lamellée, les roofs aussi. Les aménagements en bois massif, la mâture en bois lamellé, ce qui oblige à une discipline de travail, une intégrité et une honnêteté sans défaut du constructeur. Car tout ce qui est en bois est fixé sur l'acier avec une interposition de mastic ; cela repose donc sur le soin de chaque ouvrier constructeur à ne pas oublier le moindre mastic sur le moindre bout de bois, le moindre boulon, la moindre vis... bref : une construction très très compliquée, sophistiquée, mais avec un résultat ayant un charme et une qualité indéniables, et une longévité voisine au bois bien construit, ce qui est exceptionnel pour des bateaux acier.

● D'ailleurs, il est frappant de constater que quand les bateaux se vendent d'occasion, ils se vendent plus cher que ce qu'ils ont coûté à la construction, ce qui est peu courant pour des bateaux, et surtout des bateaux acier.



Croquis C 125 : ***Coupe de structure d'une vedette semi-planante de 12,50 m bordée sur membrures espacées de 440 mm. Plan Caroff.***

● Mais — ce mélange — ce mariage du bois et de l'acier est, en fin de compte très coûteux, aussi coûteux que le même bateau fait en bois moulé et lamellé... qui lui, est encore plus solide, et de beaucoup ! Alors, la question s'est posée d'elle-même : à quoi bon faire de tels bateaux en acier, pourquoi ne pas les faire en bois ? Il y en a eu donc très peu de faits...

L'expérience s'est faite parce qu'un industriel me l'a proposée, et que c'était tentant pour un architecte et ses clients, de voir ce que l'on pouvait faire, et jusqu'où on pouvait aller dans la qualité, la longévité, et la beauté, avec ce matériau que je ne connaissais pas du tout ; je m'y suis jeté à fond, avec passion et sincérité, en y croyant à l'extrême... pour me rendre compte une fois les bateaux faits, qu'ils étaient certes très beaux, très bons, tout à fait comme mes clients et moi les rêvions, mais très très chers, et que les seuls avantages réels, techniques, par rapport au même genre de bateaux faits en bois moulé et lamellé n'étaient qu'au nombre de deux et pas plus :

1 des tanks à eau et à fuel deux fois plus volumineux que dans tout autre matériau, car ils peuvent être incorporés aux fonds mêmes, c'est un gros avantage ;

2 des artifices de carène possibles multiples, tels que dérives multiples, safrans épais et profilés, ailerons anti-roulis, etc. Toutes choses délicates, fragiles ou impossibles, selon les cas dans d'autres matériaux, car sur l'acier, le fait de ne pas avoir de problèmes de liaisons mécaniques grâce à la soudure, les points deviennent là des renforts au lieu d'y être des points de fragilité, au point que j'en ai conclu qu'il serait idiot de se passer de ces artifices et de dessiner un quillard en acier, par exemple.

Tout le reste, dans le cadre de ce genre de bateau n'était qu'inconvénient... infaisable en amateur, car en forme, infinissable en amateur à partir d'une coque nue, car trop compliqué dans les détails des fixations et des protec-

tions... Condensation intérieure, bruits à la mer, froidure, moindre résistance aux chocs par rapport au lamellé, réparations difficiles, voire impossibles en cas de gros choc à cause des finitions bois compliquées à l'intérieur, etc, et surtout prix de revient ne justifiant pas un tel travail. L'expérience, certes passionnante, s'est arrêtée assez vite, d'autant plus vite que si la clientèle ne manquait pas, le chantier était bien installé et implanté, les équipes bien au point, etc, le patron industriel dudit chantier était un peu « *mégalo* » et qu'un architecte ne peut pas se bagarrer avec son constructeur, son travail est de dessiner, non de faire le dictateur sur les chantiers comme c'est le cas quand le patron a des problèmes personnels dans sa tête... Nous avons donc arrêté ces séries bien parties pourtant ; les ouvriers, contremaîtres et moi-même avons regretté l'abandon de cette expérience qui eut pu être bonne, mais a été un peu ruineuse et fatigante, à cause des problèmes propres à cette construction compliquée où il est vital que tout le monde joue le jeu à fond ou pas du tout.

Cette expérience achevée avec l'acier, je suis retourné à mes premières et éternelles amours : le bois, le bois sous toutes ses formes : classique pour les chantiers professionnels ; le bois moulé et lamellé pour les mêmes chantiers, mais aussi pour les constructeurs amateurs, seul matériau d'une solidité extraordinaire, ayant des formes élégantes possibles, qui sont faisables de A à Z par des amateurs sans trop de risques d'échec technique avec un bon plan bien pensé et bien détaillé, matériau qui coûte cher et long de construction, mais pas pire, finalement que les autres, à qualité, beauté et longévité égales. La seule manière de diminuer les coûts de revient est de faire moins « *élégant* » moins « *raffiné* », donc des coques à bouchains, à tôle développable ; le travail fait par Gilbert Caroff depuis des années a ainsi permis à des tas de gens de naviguer à moindre coût, constructions acier, amateur ou professionnelle, à prix de revient bien plus abordable que mes propres bateaux. Il faut de tout, architectes, constructeurs, et utilisateurs, je pense qu'il n'y a pas antagonisme, ni concurrence entre les deux idées extrêmes de l'architecture navale que nous représentons, G. Caroff et moi, mais seulement que nous faisons l'un comme l'autre ce que nous croyons bon, ce qui ressemble à notre manière de vivre et de voir la vie, très différente, pôles inverses, pour une clientèle qui nous ressemble, et a les mêmes attirances ou affinités que nous-mêmes... si différente,donc, qu'il n'y a pas concurrence, mais complémentarité.

Mon expérience de l'acier se limite donc à sept bateaux pour trois plans, pas plus ; j'en tire la conclusion, avec le recul du temps que l'on peut faire très bon, très beau, très solide, très agréable avec l'acier. Mais qu'en ce cas cela revient aussi cher que le bois lamellé... et que l'acier ne trouve sa vraie justification que dans des créneaux très spéciaux, à savoir : soit la volonté de faire économique par des formes simplifiées et à bouchain avec finitions « rustiques », voire très, très dépouillées... soit de très grandes unités où le bois est très, très cher et où l'acier prend alors toute sa valeur... entre les deux, et pour réaliser de jolis bateaux, cela ne vaut pas le coup, selon moi. Mais ce n'est qu'une opinion, à prendre comme telle, pas plus, opinion limitée quoique sincère, expérience faite, et faite à fond, où j'ai passé cinq ans de ma vie et cinq ans de passion à essayer de faire mieux et plus beau... Mais encore une fois, les motivations de mon mode d'architecture navale sont très marginales, puisque volontairement hors industrie, hors mode, et uniquement basées sur le plaisir de vivre sur un bateau, avec le plaisir de dessiner, d'inventer, et de construire... plaisir sans compromis puisqu'allant jusqu'au souci de choisir mes clients sans me soucier de la sacro-sainte « *rentabilité* » des temps modernes... Tout cela est donc à part, et mon opinion n'a de valeur que dans ce cadre-là, pas plus !

ACNNO

(M. Fontaine, constructeur)

En 1978, lorsque le chantier a été créé, l'essentiel des demandes de documentation concernaient des bateaux de 12 à 13 mètres. Actuellement, la demande se situe entre 10 et 11 mètres. Le phénomène n'est pas particulier à notre chantier, il est tout simplement la conséquence logique de l'expérience des « *constructeurs amateurs grande taille* », qui, sans avoir systématiquement essuyé un échec, ont souffert du temps de travail, des difficultés financières pour terminer, et par la suite pour entretenir leur bateau. Sans parler des problèmes de manœuvrabilité qui ont surpris plus d'un tourdumondiste.

Le raisonnement de notre clientèle en 1982 peut se résumer de la façon suivante : « *Il est préférable de naviguer sur un petit bateau plutôt que de rêver d'un grand* ».

Parallèlement à ces séries, le chantier réalise des bateaux à l'unité, comme cela a été le cas de Navi-Sport, par exemple ; il s'agissait d'un bateau spécialement conçu pour des handicapés.

Notre chantier est surtout orienté sur la production de coques nues. Encore faut-il définir clairement ce qu'est une coque nue ; cela peut aller de la coque non pontée jusqu'au stade le plus avancé, c'est-à-dire totalement terminée de soudure et perçage. Les différences de tarifs peuvent être conséquentes, et une normalisations pour tous les chantiers serait une sécurité pour l'acheteur qui pourrait ainsi faire des comparaisons sérieuses.

En ce qui nous concerne, nous détaillons nos tarifs et nous donnons les budgets de finition. Si cette formule décourage certains de nos clients, devant le réalisme de nos budgets, elle a au moins l'avantage de sécuriser ceux qui commenceront. Ils sauront dès le départ à combien leur reviendra leur bateau.

Le chantier réalise au maximum des bateaux navigables (c'est-à-dire prêts à prendre la mer, sans aménagements intérieurs). Cette formule est rarement demandée, car la pose d'accastillage ne demande pas une grande compétence, et il est dommage pour un amateur de payer des heures de chantier pour un travail qu'il peut parfaitement réaliser sans difficultés majeures.

Très rarement nous sous-traitons à des chantiers spécialisés les aménagements intérieurs, afin de satisfaire la clientèle du « *barre en main* ».

Mode de construction et conception de nos bateaux :

Toutes les structures de nos modèles sont à type longitudinal, c'est-à-dire que les tôles de bordé sont en contact avec les lisses et non avec les membrures. Les membrures, elles, sont là pour supporter les lisses, l'écart entre membrures et bordé est de l'ordre de 1 cm.

Ce type de structure présente le gros avantage de ne pas déformer le bordé sous l'impact des vagues. Il y a pour le constructeur une tolérance qui ne pourrait exister avec une structure sur membrures.

En acier, les profilés sont des fers plats, afin d'éviter autant que possible les « *nids à rouille* ». Par contre, l'aluminium ne posant pas ce genre de problème, l'utilisation des cornières et T est préférable pour bénéficier d'un meilleur rapport résistance/poids.

Les échantillonnages de bordé sont :

- pour l'acier de 3 à 6 mm,
- pour l'aluminium de 4 à 12 mm.

Il s'agit donc là de tôles relativement peu épaisses mais par contre la densité de la structure doit être importante. Après étude, il nous semble que nous obtenons un très bon rapport résistance/poids/prix.

Tous nos bateaux sont à bouchains vifs, ce choix a été bien sûr orienté par la demande, et si nous nous sommes souvent posé la question de faire ou non à la forme, notre carnet de commandes toujours étoffé avec des bateaux à bouchains nous a orientés à la continuité. Le choix n'est absolument pas orienté par la facilité de construction, car le moindre défaut sur un bouchain se voit, ce qui n'est pas le cas d'un bateau en formes. Par ailleurs, le prix de revient, à qualité égale, est moins élevé sur un bateau à bouchains, or à priori, un client de coque nue hésitera avant de payer 30 % de plus pour avoir un bateau en formes. D'autant plus qu'il est tout à fait possible d'avoir de très belles carènes à bouchains.

Nous construisons nos bateaux sur mannequins, ce qui nous permet d'utiliser des gabarits de traçages pour les bordés et le pont. Un mannequin de coque et un mannequin de pont facilitent la répartition du travail. Ceci a pour seul but bien sûr de réduire nos coûts et donc nos prix de vente.

Nuances de métaux et procédés de soudage

En acier, nous utilisons le E 24 2 que nous soudons par procédé MIG poussé sous CO_2 qui donne une excellente pénétration.

En alu, nous utilisons de l'AG_4 MC que nous soudons par procédé TIG ou MIG poussé, pulsé sous Nerthal (argon).

NOEL CARRERE

(Architecte)

L'acier et l'alu offrent une résistance mécanique aux efforts et surtout une capacité à absorber de l'énergie par déformation avant de se rompre qui sont exceptionnelles et dans certains cas irremplaçables. Ils permettent donc la construction de coques robustes et somme toute légères ; n'oublions pas que certains de nos bateaux surdimensionnés que l'on qualifie parfois de « *fers à repasser* » sont de véritables plumes par rapport aux voiliers d'il y a 50 ans.

D'autre part, les outillages et technologies qui permettent de les travailler et de les assembler (découpage, pliage, usinages, formage, soudage, collages...) leur procurent des possibilités d'adaptation immenses à tous les cas de figures. Ce sont les matériaux idéaux pour la construction de prototypes, de bateaux à l'unité ou en petites séries plus ou moins personnalisés et de dispositifs particuliers.

Ces qualités particulières en ont fait des matériaux prisés d'une grande partie des navigateurs, mais aussi des petits constructeurs. Les premiers sont intéressés par les qualités de robustesse et de légèreté des bateaux ainsi construits ; ils ne manquent pas de le prouver tous les jours par des expéditions de plus en plus osées. Les seconds apprécient la possibilité de pouvoir s'aligner sur le marché avec des

produits compétitifs sur le plan du prix, des performances, et bien souvent un peu en avance côté qualité et services rendus pour ceux qui veulent un bateau à la carte.

La troisième particularité de la construction métallique est à mon sens une grande méconnaissance qui la caractérise dans le milieu plaisancier. Cela fait pourtant longtemps que les professionnels de la mer font confiance à l'acier. Chez nous, les métaux restent entourés d'un halo d'incompréhension et d'idées reçues. Le toucher froid du métal face à l'attirance naturelle du bois n'explique pas tout : il y a bien des matériaux qui sentent mauvais, et qui se vendent...

En clair, je trouve que le bateau en stratifié polyester de série est un peu trop « *imposé* » au plaisancier. Apparemment, ce dernier conserve toutes ses possibilités de choix, mais mettez-vous à sa place (si vous n'y êtes déjà) du futur plaisancier qui découvre le monde pour lui nouveau de nos voiliers avec tout ce que cela peut comporter d'attirances, d'inquiétudes et d'hésitations... Il apprend à juger les bateaux non pas d'après ses propres besoins qu'il connaît encore mal mais d'après ce qu'il voit autour de lui dans les marinas, les Salons d'exposition et les revues ; c'est-à-dire des bateaux qui ne naviguent pratiquement pas dans le premier cas, ou ceux exposés par les plus gros constructeurs dans les deux autres. Ce sont souvent les mêmes, alors la boucle est bouclée : cela fait un adepte de plus pour ces constructeurs. Tant mieux pour eux, ils ne font que leur métier, mais en construction métallique, il n'y a pas de grand chantier ; il n'y a que des petites et quelques moyennes entreprises. Leur impact publicitaire, leurs possiblités d'expositions, leur influence sur les médias sont donc limités. Les bateaux qu'elles construisent, partent souvent bourlinguer loin de nos côtes encombrées. Leurs qualités réelles ne sont donc bien connues que d'un public restreint, déjà initié, et, fait révélateur, leurs acheteurs en sont souvent à leur deuxième unité...

Je suis optimiste quant au développement des bateaux métalliques. A court terme apparaissent une amélioration des méthodes de construction et une meilleure utilisation de la matière.

Les méthodes de fabrication, et, avec, l'organisation des chantiers vont se modifier dans les années qui viennent. Elles ont déjà commencé pour certains, pour aller vers une diminution des temps de montage par l'emploi d'outillages plus adaptés, de mannequins, de gabarits, d'accessoires «*standards* » convenant à plusieurs modèles, etc. Tout cela améliore aussi la précision du travail et sa qualité par la même occasion. Le lancement de petites séries s'adapte très bien à ces progrès car elles seules permettent un investissement suffisant en matériel et outillage et une mise au point très poussée des détails de finition ; ce dernier élément est devenu primordial sur le plan commercial devant le soin apporté par les grands constructeurs à l'aspect extérieur de leurs modèles. La conception des coques évolue aussi vers une disposition différente de la matière : cela répond à la fois à un besoin économique (diminution des temps de main d'œuvre) et à un impératif technique (carte de la sécurité par déformation, donc par absorption d'énergie jouée à fond). Des coques en alu épais sans structures ont vu le jour ; elles restent assez lourdes mais sont de bel aspect et d'une grande robustesse.

A plus long terme, nous nous orientons vers des procédés nouveaux de mise en œuvre et d'assemblage et vers une répartition différente du métal au sein de la structure et du bordé : la structure deviendra un ensemble varangues-épontille-quille-cadènes et quelques couples porques ou cloisons disposés de manière à reprendre ponctuellement les principaux efforts locaux qui s'exercent sur la coque, cette dernière devenant une peau légère mais rigide par elle-même par exemple en sandwich métallique et montée de manière souple pour éviter les points durs et effets de chocs non amortis. A ce sujet, certains brevets existent déjà et sont issus de l'industrie, d'autres sont en cours de dépôt et concernent spécifiquement la plaisance. Certaines techniques que l'on dit nouvelles ne le sont en réalité que d'un point de vue navigation à voile, mais des solutions comme les rivetages (qui sont loin d'être dépassées), les collages de métaux, les formages par explosion, l'emboutissage mécanique ou hydraulique, la découpe automatisée de tôles, l'emploi de sandwiches métalliques, etc, existent et sont éprouvées parfois depuis plusieurs dizaines d'années dans l'industrie. A cet égard, les budgets investis par les sponsors en course, s'ils n'ont rien de commun avec les dépenses nécessaires à certains laboratoires de recherche, permettent tout de même de redécouvrir ces techniques et de mettre au point leurs modalités d'adaptation à la construction navale légère.

La construction individuelle fera encore appel aux conceptions proches des plans que nous commercialisons aujourd'hui, quant à la construction professionnelle, il faudrait qu'elle évolue vers une technologie plus élaborée, visant à diminuer les temps de construction, les poids inutiles, à fabriquer en petites et moyennes séries les pièces, coques et éléments principaux. Elle fera certainement appel à des conceptions, des plans et des moyens assez éloignés de ce que nous connaissons aujourd'hui.

GAEL MARINE

Alain Bot (chantier naval)

Pour Alain Bot, l'acier constitue le matériau idéal pour des bateaux de plaisance de grande croisière. Personne ne conteste sa robustesse et sa fiabilité, démontrées par plus d'un siècle d'expérience en Marine marchande et Marine militaire. Son chantier s'efforce de puiser dans cet énorme dossier de recherche la parfaite maîtrise des techniques de mise en œuvre et de normes élevées de qualité pour construire des coques à tous stades de finition, dont le but ultime à ne pas perdre de vue est qu'un bateau est fait pour naviguer !

CÉSAR G. ORSINI

(Architecte)

Je n'ai pas l'expérience de la technique aluminium.

Mon expérience de la construction acier vient à travers les techniques utilisées pour les remorqueurs et les chalutiers. Je transpose à tort ou à raison cette technique dans la construction de bateaux de plaisance.

Pour des raisons de durée, de résistance à la corrosion, pour éviter les bosses et les déformations des tôles qui font apparaître l'ossature intérieure, spectacle, hélas, courant sur des constructions légères, j'adopte des échantillonnages de la Marine de Commerce : tôles de 6, 8, 10 et 12 mm, jamais au-dessous de 6 mm pour les coques, 4 et 5 mm pour les superstructures. Ceci pour des coques entre 10 et 20 mètres.

J'estime que l'acier est plus adapté à la construction en formes que pour des coques à bouchains. La vocation de l'acier est la chaudronnerie et le formage, alors qu'une construction à bouchains est pour le contre-plaqué. C'est pour ce matériau que sont nées les formes développables.

Les points capitaux d'une coque métallique sont l'isolation au chaud et au froid ; l'isolation phonique ; l'agrémentation par du bois ou autres matériaux, ceci étant bien réalisé et démontable.

On aime ou on aime pas l'acier !

CONSTRUCTION NAUTIQUE D'AQUITAINE

(Constructeur)

Monsieur Augis propose aux amateurs des coques pontées.

L'évolution du chantier tend vers la fourniture de kits.

Le C.N.A. utilise les aciers E 24 et E 26-2 ainsi que l'acier inoxydable 316 L, et ne travaille pas l'aluminium.

C.N.A. propose des coques au stade toute chaudronnerie achevée et même sablées et peintes époxy zinc intérieur et extérieur.

UNE EXPÉRIENCE FRANÇAISE, BRUMENT

Par ailleurs, ce Hors-Série relate les expériences des chantiers français et étrangers, Méta, Huisman, Sapa-Profilen, Jongert. Ces expériences concernaient l'aluminium en tôles épaisses (Strongall), en tôles fines, son collage et la construction de grandes unités en cupronickel.

L'expérience du chantier français *Brument* vaut d'être racontée car ce constructeur est un des rares à travailler à la fois l'acier doux, les alliages d'aluminium et les aciers inoxydables.

Spécialisé dans la construction industrielle d'équipements de distillerie en cuivre et en acier inoxydale, ce chantier a l'habitude du travail des métaux nobles et des formes de corrosions qui y sont attachées.

Peu après 1970, *Maurice Brument* commande à *Jean-Jacques Herbulot* les plans d'un voilier très classique à quille longue d'une dizaine de mètres, *Vulcain I*. Ce bateau était bordé sur membrures et cloisons métalliques, le bagne. Les coques sortent cependant avec une géométrie soignée qui est le résultat des soins apportés au soudage et aux traitements des tôles depuis leur découpe jusqu'à leur détente.

En 1974, le chantier *Brument* s'intéresse à la forme par la réalisation d'un grand fifty de conception hollandaise. L'expérience de la construction sur membrures est précieuse car cette unité de fort tonnage, ventrue, à quille longue, est aussi sur structure transversale, « *custom building* », membrures et barrots en L. Le bateau est bordé à l'endroit, sur sa quille. Puis il est sablé, « *shoopé* » et peint selon la tradition hollandaise.

Parallèlement est menée l'expérience du Vulcain 2, lourde coque de formes discutables, qui « *sort* » en acier inoxydable NSM 21 S sans une bosse ni un creux. C'est le creuset de l'expérience du chantier dans la construction en « *inox* » qu'aucun autre constructeur européen ne possède à ce point car à ce bateau à bouchains bananés de 14 mètres va suivre une série de bateaux en « *inox* ».

La muraille du Vulcain 2 (plan *Davis*) est satinée. Le pont est peint ainsi que les œuvres vives qui reçoivent un antifouling. A titre d'expérience, un rond de 30 est apposé à

l'étrave, dans une nuance moins noble que le reste du bateau. Six mois d'immersion suffisaient à clore l'expérience. Le rond était rongé de cavernes dans les plus grosses desquelles on pouvait mettre le petit doigt. Ce qui met en évidence l'extrême rigueur avec laquelle il faut choisir les nuances des différents éléments immergés : tôles, profilés, ronds, barres.

Le soudage est fait en Mig sous argon.

Puis vint la construction du Vulcain 3 dont la particularité est d'avoir un bouchain supérieur banané, le reste du bordé étant à double bouchain. Les panneaux de bouchains sont galbés et les brisures martelées au tas par frappe. Ce qui a l'avantage aussi d'écrouir cette zone et d'améliorer les qualités mécaniques, alors que souder un tube multiplie le nombre de cordons de soudure et accroît le recuit qui diminue les capacités mécaniques du métal, qu'il soit de l'inox, de l'acier doux ou un alliage d'aluminium.

Vulcain 3 n'est plus sur membrures mais sur lisses. Pas en « *floating system* » réglable puisque les lisses en T ne sont pas encastrées mais accollées aux L des membrures afin de ne pas couper la fibre du métal.

Avec Vulcain 4 commence la phase industrielle de la production de bateaux, en 1975. Vulcain 4 était une unité très trapue avec une énorme cabine arrière. Son originalité est d'être à la fois un dériveur et un quillard que le chantier construit sur des gabarits de coque, mais aussi de pont. Cela était nouveau. Les lisses de la coque sont mises en place sur un gabarit en acier qui donne la forme exacte. Puis les tôles sont bordées, découpées, pointées très serrées et soudées en semi-automatique (MIG).

La quille est construite à part et encastrée dans les fonds où le varangage en tôles pliées est repris sur les renforts de quille. De même l'aileron de gouvernail ou le puits de dérive également construit à part et encastré. A côté du gabarit sur lequel la coque est en construction, le pont est fabriqué sur un moule inversé. Les tôles de pont, d'hiloires de roof, de toit de roof sont mises en place. Puis les barrots en U inversé et enfin les lisses de pont. Le pourtour du pont est rabattu autour d'un fort profilé par martelage. Ce qui est très intéressant car ce procédé supprime la soudure d'angle en creux à laquelle s'accrochent vite les salissures et qui tend à rouiller. Dans le cas d'un pont « inox » sur une coque acier, comme nous allons voir plus loin, c'est une disposition particulièrement précieuse car l'eau qui peut rester dans l'angle du pavois ne touche que l'« *inox* » du pont replié vers le haut, la jonction avec l'acier doux se faisant plus haut par un cordon « *inox* ». A l'intérieur est effectuée une reprise chenillée. Le cockpit est plié à part et installé sur le pont. Ce procédé autorise un grand nombre de versions sortant toutes d'une même base standard. On trouve les versions d'origine à roof et cockpit central ou arrière, celui-ci pouvant être très encastré ou maintenu haut pour dégager du volume intérieur dans les cabines arrière. A cela s'ajoute la version à salon de pont qui, elle, sort du cadre standard. Il est intéressant de signaler que dans les chantiers qui travaillent en « *standard* », le coût des éléments de série s'en trouve abaissé par la répétition identique des détails toujours traités de la même façon alors que les zones qui seraient modifiées par rapport à la base standard coûtent proportionnellement cher. En fait, ces éléments coûtent un prix en rapport avec le nombre des heures passées et le coût de la matière. Mais ces heures sont nombreuses car il s'agit d'un travail à l'unité nécessitant du traçage, de la découpe, de l'ajustage. Les éléments « *standards* », eux, ont été tracés et

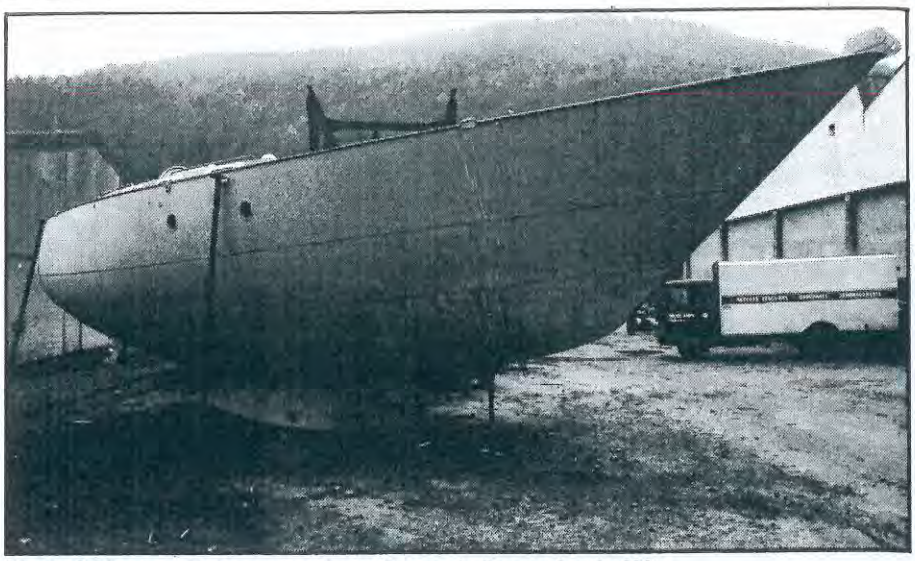


Photo C 81 : ***Exemple de construction en formes, à clins, au chantier Méta.***

tés une bonne fois pour toutes, sauf modernisations périodiques. Le temps nécessaire à leur fabrication se trouve abaissé par trois environ, par rapport à un travail à l'unité. Quand on connaît le prix horaire, d'ailleurs assez uniformisé selon les constructeurs, on devine l'impact financier du travail standardisé comme le fait *Brument*.

Un Vulcain 4 a été fait en « *inox* » au début de la série. Une première était là encore réalisée, le shoopage au cuivre des œuvres vives à titre de revêtement antifouling. Le cuivre était fondu et projeté comme on le fait avec le zinc. Hélas, le système breveté par la Marine Nationale n'a pas donné toute la satisfaction qu'on attendait, des zones se sont dégarnies de cuivre, alors qu'on pouvait espérer que le revêtement cuivre dure très longtemps. On sait que le cuivre est naturellement antifouling. Les bateaux en cupronickel (cuivre et nickel) sont peints au-dessus de l'eau pour des raisons esthétiques, mais pas sous l'eau.

Une mise au point s'impose sans doute.

Allongé par une voûte plus esthétique, Vulcain 4 devenait Vulcain 5 en 1977 et passait en première catégorie, sa longueur augmentant de 9,60 m à 10,20 mètres ! Logique, encore, tout ça ! sans autre forme de renforcement ou d'équipement.

Un grand intérêt réside à noter que les Vulcain 5 peuvent être construits :

— en AG4MC, soudé MIG en AG5,
— en AG4,50MC soudé MIG en AG5,
— en acier E.24.2 galvanisé,
— en acier E.24.2 avec pont inox 304, 304L, 316 ou 316L selon le budget,
— en inox 316.L pour la coque et 304 à 316L pour le pont.

Gamme de possibilités qui implique un bon éclectisme de la part des soudeurs car il y a peu de rapport entre le soudage de l'acier, de l'inox et des alliages d'aluminium, par ordre de difficulté.

Les Vulcain 5, comme les petits Vulcain 6 (9 mètres en AG4 MC) sont construits sur lisses. Leurs panneaux de bouchains sont galbés avec un rayon constant de l'avant à l'arrière. Ce rayon est le même pour tous les panneaux et pour le pont.

Les raisons pour lesquelles l'étude de ce chantier est intéressante sont les originalités de ce chantier et ses différentes expériences successives : construction sur membrures, « *custom building* », construction mixte, « *floating system* », bouchains arrondis au tas, brisures bananées, panneaux galbés en « *semi-formes* », travail des métaux nobles (cuivre et aciers inoxydables) et des alliages d'aluminium.

De plus, *Maurice Brument* s'intéresse de près à la construction collée dont les premières expériences ont lieu depuis 1981.

Les « grands » européens ne sont pas si nombreux surtout dans la construction en acier doux, en acier inoxydable et en construction mixte (coque acier et pont inox). Cela justifie qu'on s'intéresse à leurs expériences dans lesquelles il y a une progression à retirer *(Photo C 81)*.

20

UN PONT EN BOIS SUR UNE COQUE METALLIQUE

Dans la mesure où l'usure des peintures sur l'ensemble d'un bateau en acier est surtout un objet d'entretien du pont, il n'est pas illogique de se pencher sur les solutions qui évitent les ragages du métal et de son revêtement peint.

Au nombre de ces solutions on trouve :

- revêtir le pont d'un matériau protecteur et antidérapant collé ;
- protéger tous les angles par des ronds d'inox ou des parements en bois ;
- disposer des cale-pieds et mains courantes pour masquer autant d'angles que possible ;
- habiller de bois le cockpit voire l'ensemble du pont en conservant en dessous le pont en acier.
- fabriquer un pont en acier inoxydable, 304 L ou 316 L.
- fabriquer un pont en bois.

Les deux dernières solutions sont les plus radicales. Les quatre premières solutions sont combinables entre elles et avec les deux dernières.

Voici des indications pour construire un pont en bois sur une coque en acier doux.

● La coque. La coque est construite tout à fait normalement. On peut la sabler et la peindre avant la pose du pont. On peut aussi fabriquer une grande partie des aménagements avant de ponter.

Il faut prévoir tout autour du niveau du pont, une gouttière que je décris plus bas. Egalement certains ancrages doivent être prévus dans la coque pour des fixations de cadènes, supports de cockpit, tuyaux de vidange, cockpit, gouvernail.

LE BARROTAGE EN BOIS

Le pont participe effectivement à la rigidité du bateau. Le liaisonnement des barrots en bois à la coque en acier sera dans le cadre d'un tel choix la préoccupation majeure.

Il faut souder tout autour du bateau une bande de tôle d'environ 10 cm de large selon la taille du bateau. Cette bande s'arrondit aux angles de l'étrave et du tableau arrière. On soude aussi des départs de barrots en acier de 10 à 20 cm de long. Les barrots en bois sont boulonnés à ces départs qui peuvent être des fers plats ou des cornières en L et sont reliés à la coque par des goussets pour être tout à fait rigides. Les barrots en acier sont prolongés jusqu'aux cadènes et sont pourvus de tirants comme vous pouvez le voir dans les chapitres du manuel de construction individuelle en acier.

Les barrots sont en frêne, en acajou, ou en contre-plaqué. Evitez le chêne dont le tanin ne fait pas bon ménage avec l'acier. Les départs de barrots et la gouttière sont peints avant de boulonner les barrots avec abondante interposition de joints d'étanchéité (Sika, Rubson...).

Les barrots sont découpés pour s'encastrer sous la gouttière et ensuite être au même niveau qu'elle sur le reste de la longueur. Il peut être utile de prévoir des élongis ou des lisses longitudinales selon l'échantillonnage et la taille du bateau.

Le pont de bois sera constitué de feuilles de contre-plaqué marine collées et vissées aux barrots et boulonnées à la gouttière. Les boulons en inox sont rapprochés et posés en quinconce pour éviter toute pénétration d'eau et même d'humidité entre le bois et l'acier. Car c'est bien la faiblesse de ce montage, l'hétérogénéité ! Un bon joint d'étanchéité en mastic souple est nécessaire pour assurer l'étanchéité du pont. Des plaques d'étanchéité sont interposées partout où il y a pénétration du pont : cadènes, jaumière de gouvernail.

Cette plaque, en inox, peut être vissée par l'extérieur, ou être soudée à la pièce transversante et se trouver comme la gouttière sous le pont en bois.

L'épontille dans le cas d'un pont en bois avec barrotage bois pourra être en acier ou en bois. Autant la faire en bois !

BARROTAGE EN ACIER

Ce montage a plusieurs intérêts. L'ensemble de la structure est homogène et en acier.

Le pont en bois est alors une sorte d'habillage peu travaillant. Toute la structure porteuse est en acier : épontille, jaumière, goussets et tirants sous cadènes. Dans ce cas, la gouttière reste identique à ce que j'ai décrit plus haut, mais les barrots sont entiers et faits dans des cornières en L inversé. Le plat de la base du L est tourné vers le haut et recevra la fixation boulonnée du pont.

Les feuilles de contre-plaqué d'Okoumé ou d'acajou sont boulonnées à la structure de pont peinte, avec interposition d'un mastic souple. Il ne faut pas chercher à coller l'acier au bois car peu de colles sont assez souples pour garder un jeu suffisant.

Le pontage en bois sur un barrotage en acier est beaucoup plus facile que sur un barrotage en bois bien moins homogène. Dans les deux cas, l'étanchéité de la liaison bois-acier est le point délicat qui doit réclamer toute votre attention.

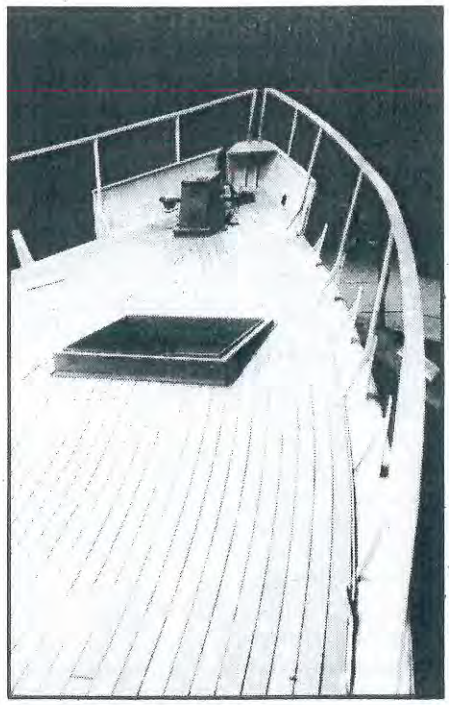


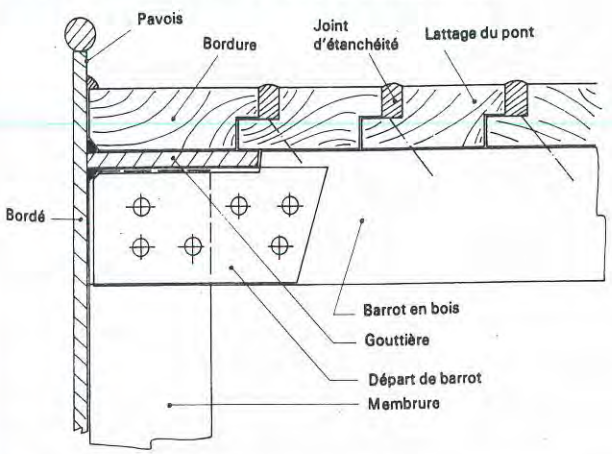
Photo C 85 : *Pont en bois sur un Fifty. Notez la rambarde en plat d'inox qui sera garnie de bois et le pavois qui sera rapporté en bois. Plan Presles.*

L'HABILLAGE DE BOIS

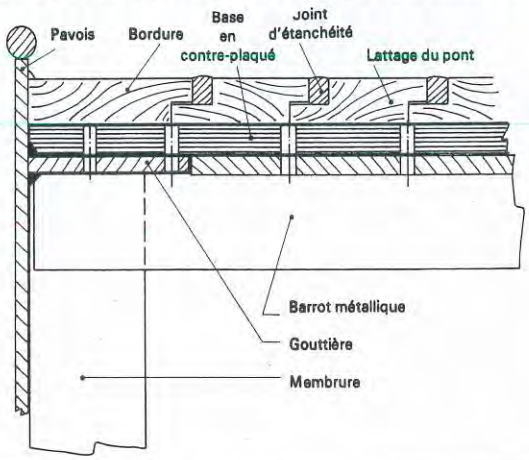
Si vous avez voulu un pont en bois, ce n'est pas pour le cacher ! C'est parce que vous aimez le bois. L'habillage extérieur du pont se fera alors par collage et vissage ou clouage sous languette de lattes de teck. On peut opter pour des lattes de teck relativement minces. Une bonne épaisseur se situera autour de 12 à 15 mm. Trop minces, ces lattes vont se déformer sous les alternances de soleil et d'« *humidité* ». Il faut penser que toutes les ferrures qui dépassent du pont doivent tenir compte des épaisseurs de bois et être plus longues d'une trentaine de mm.

Le teck ne se colle pas bien lorsqu'on parle de ponts de bateaux. C'est un bois gras qui tôt ou tard se décolle. Sur la base de pont en contre-plaqué de 10 à 15 mm pour des bateaux de tailles courantes (9 à 12 m), traité et peint, on le monte en le clouant dans le cas de lattes à feuillure de

Croquis C 127 : *Pont en lattes de bois sur barrots en bois.*



Croquis C 128 : *Pont en contre-plaqué et lattes sur des barrots métalliques.*



recouvrement, ou en le vissant (vis bouvetées pour des lattes à section rectangulaire sans recouvrement). Un joint étanche Sika ou Rubson ou bitumineux est étendu entre les lattes.

On peut aussi faire un pont entièrement constitué de lattes de teck sans base en contre-plaqué. C'est alors un travail de spécialiste.

Je recommande la lecture du numéro Hors Série sur la construction en bois pour toute précision sur le travail spécifique de ce matériau traditionnel.

BOIS ET INOX

Sur une coque en acier, on peut opter pour les deux barrotages expliqués ci-dessus. On peut aussi choisir d'y apporter la variante intelligente d'une gouttière et de barrots (départs ou barrots complets) en acier inoxydable. La liaison de l'acier doux à l'acier inoxydable se fait avec des baguettes de soudure ou un fil inox de la même nuance que la structure du pont : 304, 304 L ou 316. Une excellente solution qui ne dispense pas du soin à apporter à l'étanchéité mais libère un peu plus du souci du devenir du métal sous le bois. Non que la corrosion ne puisse exister. Mais parce que la durée des travaux se passe sans la crainte qu'une éraflure de l'acier passe inaperçue et soit enfermée sans avoir été repeinte, sous le pont en bois.

Ceci dit, pour érafler les peintures de finition mais aussi les peintures au zinc et atteindre l'acier, il faut un très violent choc. Par exemple, un homme de constitution moyenne frappant une coque peinte à l'acier d'un marteau tenu d'une main n'atteindra pas forcément l'acier, même avec l'angle du marteau. Il lui faudra s'y reprendre à plusieurs fois et de toutes ses forces. Cela donne une image de la résistance, plus grande que beaucoup le croient, des peintures de protection au zinc quelles qu'elles soient. Les peintures de finition, elles, sont bien plus fragiles *(Photo C 84, croquis C 127 et C 128).*

21

UN PONT MÉTALLIQUE HABILLÉ DE BOIS

Il ne faut pas confondre ce chapitre avec l'autre chapitre de ce livre qui traite de la fabrication d'un pont en bois sur une coque métallique en acier, acier inoxydable ou aluminium.

Il s'agit ici d'une coque pontée en acier inoxydable ou aluminium habillée d'un doublage de pont en bois.

L'homogénéité de la construction métallique est totale et il ne se pose aucun problème d'étanchéité... si le pont de métal n'est pas percé !

HABILLER UN PONT D'ALUMINIUM

Le pont en aluminium repose sur sa structure. Il aura simplement fallu prévoir de rehausser de l'épaisseur de l'habillage en bois tout ce qui dépasse du pont : cadènes, supports de winches, guindeau, rails divers, toutes ferrures, taquets, chaumards...

Le pont peut être laissé nu, ni traité, ni peint. Il est dégraissé et décontaminé partout où il faudra souder et pointer quelque chose.

On pointe sur le pont, transversalement pour que l'eau circule bien sous l'habillage en bois, des barres d'alliage léger taraudées tous les 30 cm environ. La section de ces barres peut être de 10 × 10 ou 10 × 15 ou 15 × 15. Les barres sont pointées en quinconce de façon à soutenir un contre-plaqué de 10 à 15 cm selon la taille du bateau et des panneaux. Sur le pourtour du bateau, selon qu'il y a un pavois ou non il faudra pointer des *« plats »*, taraudés ou des barres interrompues de très nombreux et larges passages d'eau pour l'évacuation des embruns.

Sur ces barres, on vient visser le doublage en contre-plaqué découpé de façon à faire des panneaux de formes agréables à l'œil, amovibles, donc ni trop grands, ni trop petits, emboîtés entre les lignes du roof et les pièces d'accastillage. Chaque panneau doit être amovible. Localement, les winches, le guindeau, etc, peuvent être fixés sur des massifs de bois arasant le niveau de l'habillage.

Ces panneaux de contre-plaqué d'okoumé ou d'acajou servent de support à un décor réalisé en lattes de teck et qui constitue le but réel de l'opération.

LES PANNEAUX

La forme est donnée par la géométrie du pont. On découpe un panneau de contre-plaqué plus petit que les dimensions finales.

On entoure ce panneau de longueurs de teck ou d'un autre bois résistant bien à l'alternance d'eau et de soleil et si possible ne demandant pas à être vernis. Ces *« tasseaux »* sont toupillés pour à la fois encadrer le centre du panneau et en protéger les rives. Le centre du panneau est habillé de lattes posées dans le sens adéquat. En principe, les lattes ne sont pas transversales. Elles peuvent être parallèles au livet ou en chevron formant, par exemple, un angle de 30° sur l'axe de part et d'autre.

Le plus joli sera de disposer les lattes parallèlement au livet. Donc sur chaque panneau, l'orientation des lattes sera différente. Le découpage des panneaux devra en tenir compte.

Les panneaux sont fabriqués de la même façon, en vue d'une pose sur un pont en aluminium, en inox ou en acier doux.

Les lattes de l'habillage sont clouées et collées sur les bases en contre-plaqué. Un joint étanche est étendu entre les lattes qui peuvent ne pas présenter de feuillures, mais, dans ce cas, être coupées en section trapézoïdale. L'épaisseur des lattes ne doit pas être inférieure à 10 mm faute de quoi, on a toute chance de les voir se déformer sous la chaleur du soleil et se fendre. Le joint étanche est passé au pistolet. Une fois sec, il est poncé avec l'ensemble du panneau qui prend alors, son aspect définitif. On utilise en général, du joint noir Rubson ou Sika.

Sur un pont en aluminium ou en inox, de petites zones, portant de l'accastillage, peuvent être fixes. Elles sont boulonnées sur des plats dont le volume est évidé dans le dessous des massifs de bois. On trouve cette disposition pour les winches et le guindeau. Ceci est à éviter avec un pont en acier et il vaudra mieux fixer ces pièces, sur des oméga en acier inoxydable auxquels viennent s'ajuster les panneaux en bois formant l'habillage.

A partir du moment où on laisse un espace entre les panneaux et le pont métallique pour l'aération et la circulation de l'eau tous les coups sont permis. Cet espace est la clef de la réussite.

UN PONT EN INOX OU EN ACIER DOUX

Le principe est le même et identique, aux métaux près, à celui du pont en aluminium.

On soude cette fois, sur le pont en inox ou en acier doux, des barres ou des plats en acier inoxydable, 304 L ou 316, taraudés. Le pont en inox reste tel quel, satiné pour faire disparaître d'éventuelles rayures, passivé et décontaminé. Le pont en acier doux est peint une fois que les plats ou les barres d'inox ont été soudés (chenillés) et passivés. La *« peinture »* est complète. Elle comprend le sablage, les 3 couches de protection et deux ou trois finitions.

Les panneaux sont déterminés comme précédemment et fabriqués de la même façon. La circulation d'eau sous les panneaux, ne doit pas être entravée et des salissures telles que des feuilles mortes doivent pouvoir être éliminées par des écoulements aussi nombreux et larges que possible.

AUTRES MÉTHODES

Tout repose sur la façon de poser la base des panneaux, en contre-plaqué, sur le pont, ou plutôt au-dessus du pont métallique.

On peut opter :

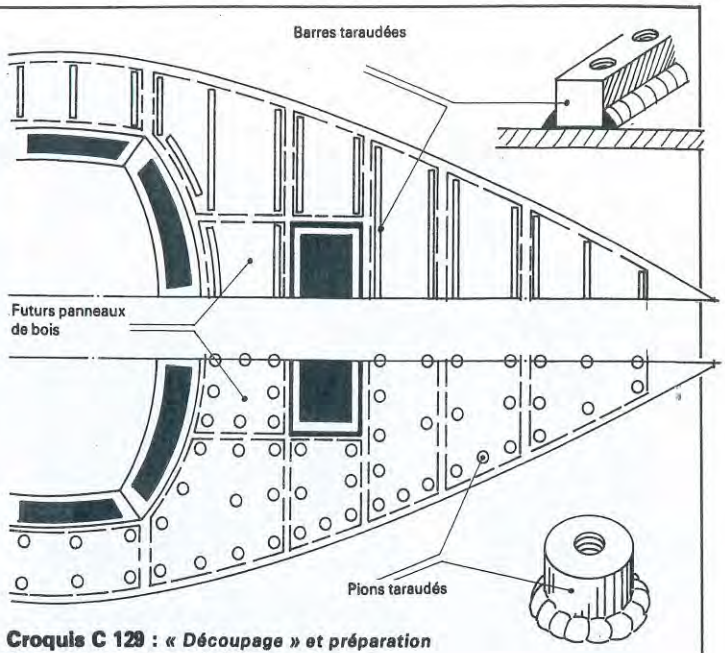
- pour des barres transversales taraudées, plats ou L. ;
- pour des plats de forme carrée, ronde ou rectangulaire, taraudés ;
- pour des boulons soudés à l'envers, mais dans ce cas, ce sont les écrous qui vont être du côté visible. Sera-ce beau ?



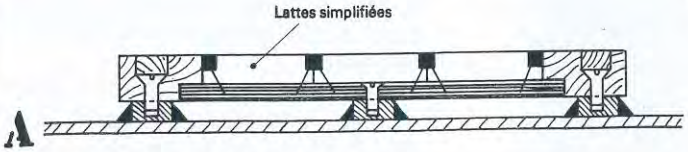
Photo C 86 : *Détail de jonction de panneau en bois habillant le pont d'un Lex en acier, découpe autour d'une cadène.*



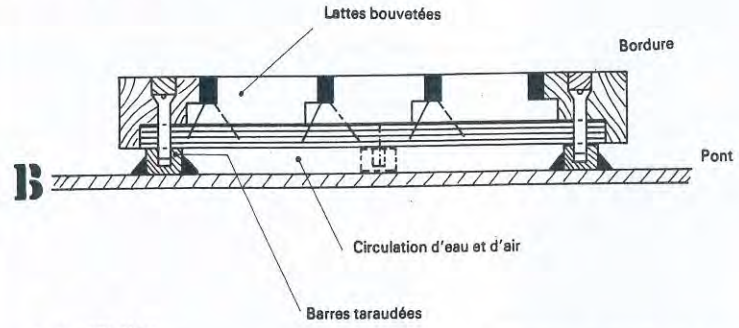
Photo C 88 : *Bord du château arrière d'un Lex où on voit l'habillage en bois.*



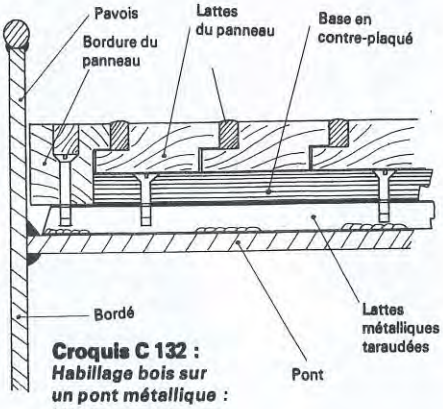
Croquis C 129 : *« Découpage » et préparation du pont en vue de son habillage en bois.*



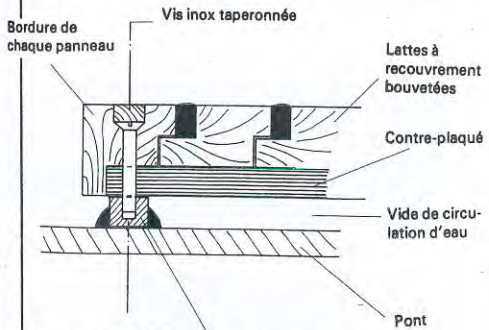
Croquis C 130 : *Panneaux d'habillage*



A : simplifié, léger.
B : classique, résistant.



Croquis C 132 : *Habillage bois sur un pont métallique : Liaison pont-coque*



Croquis C 131 : *Détail de l'habillage d'un pont métallique*

- pour des ecrous soudés sur le pont. Mais de l'eau risque de stagner dans l'espace enfermé dans l'écrou sous la vis qui s'y trouve engagée ;
- pour des plats ou des pattes fixés au pavois, au roof ou aux encadrements des panneaux de pont.

De toute façon, jamais les panneaux ne devront être fixés contre le pont métallique, et jamais la fixation ne sera en acier doux. Plats ou L taraudés, plats (ou pions) ou autres méthodes seront en acier inoxydable, percés ou taraudés sur leur épaisseur, pointés et passivés. Ne jamais peindre sans passiver l'inox.

Il est important de penser à prolonger toutes les ferrures d'une longueur égale à la hauteur entre le pont métallique et le dessus du pont en bois. Par exemple, les cadènes, si on ne veut pas que les axes des ridoirs disparaissent sous le bois du doublage ! *(Photos C 86 et C 88, croquis C 129 à C 132).*

22

LE COLLAGE D'UN REVETEMENT DE PONT SUR L'ACIER

Plutôt que peindre un antidérapant de pont, on peut choisir de coller un revêtement. Sur un pont en acier, ce sera une bonne idée car ce revêtement aura un rôle de protection du métal, d'isolant phonique et, s'il a une couleur claire, d'isolant thermique. Et d'antidérapant bien entendu !

A condition que le collage soit bien fait !

Le matériau sera en général un aggloméré de liège et d'une résine ou de caoutchouc. C'est un matériau lourd et mou qui épouse bien le bombé du pont. On le découpe selon les reliefs du pont, du roof voire du fond de cockpit encore que les stagnations d'eau ne soient pas favorables à ce procédé. Mieux vaut un caillebotis posé en surélévation sur le fond de cockpit. On n'aboute pas deux plaques de façon jointive mais on laisse deux ou trois cm entre deux plaques, dont les angles doivent être arrondis.

Deux plaques jointives auraient toute chance de se repousser et de se décoller. Outre que c'est en général inesthétique ! Il faut donc laisser quelques cm entre tous les reliefs et les plaques. Assez pour assurer un bon collage de toute la périphérie de la plaque, mais pas trop pour que le pied y puisse glisser faute d'antidérapant.

Certains antidérapants ont un relief en losange et les découpes, pour être dans le même « *fil* », n'ont que deux sens de pose, en long, vers l'avant, ou retourné vers l'arrière.

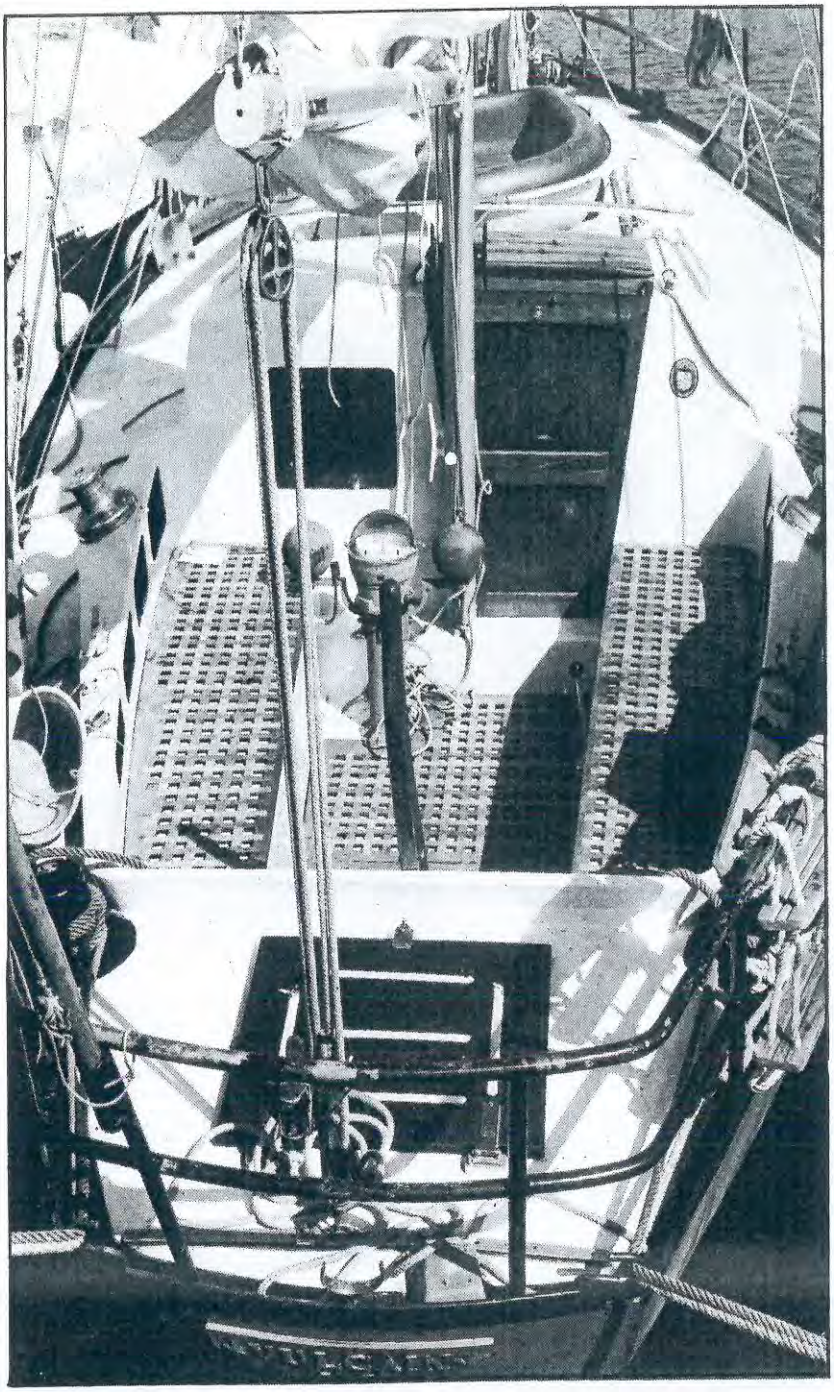


Photo C 89 : *Cockpit habillé de caillebotis. Notez la barre franche et la petite colonne qui porte le compas doté de boules de compensation. Un bon montage en cas d'absence de colonne de barre à roue.*

D'autres ont un relief fait de ronds ou de carrés, ce qui permet de placer des chutes en perpendiculaire et d'avoir moins de pertes.

Le collage de ces plaques doit se faire avec une résine semi-rigide et non soluble dans l'eau. Donc, pas d'époxy rigide et pas de néoprène. On trouve diverses colles chez Sika, Ciba-Geigy, ou d'autres fournisseurs.

Sur le pont sablé et peint de ses peintures de protection, on prépare les plaques d'antidérapant. On enduit de 2 bons mm de colle la totalité de la surface de chaque plaque, jusqu'au bord et « *sans manques* ».

Puis on pose chaque plaque en commençant par un bord et en l'arrondissant au fur et à mesure qu'on l'applique vers le bord opposé. Comme la colle est encore à l'état pâteux et qu'on n'use pas de colles à prise rapide, on a tout le temps de soigner la mise en place qui semble bien être capitale. La plaque mise en place, on appuie sur elle pour faire ressortir la colle depuis le centre vers les côtés. On chasse ainsi les bulles qui pourraient s'être faites sous l'antidérapant.

On charge la plaque d'un poids de sable dans un sac assez mou pour bien répartir la pression et on pratique un congé tout autour de la plaque avec la colle qui a « bavé ». L'excédent de colle est enlevé en général avec une spatule ou un chiffon imbibé d'alcool. La surface de la plaque peut être nettoyée à l'alcool. Le matelas de colle pratiqué sous chaque plaque étant assez épais et devant rester uniforme, il ne faut absolument pas marcher sur l'antidérapant pendant 24 heures au moins selon la température ambiante. Le temps de séchage diminue quand la température augmente. On peut chauffer la tôle et les plaques avec un sèche-cheveux lorsqu'on travaille l'hiver.

Je me souviens avoir collé des plaques de *Treadmaster* sur le pont de Vagabond'eux en janvier alors que la neige tenait dur et ferme dehors et que le local n'était pas chauffé. Les plaques n'ont pas été chauffées et la colle araldite a parfaitement pris et tenu. La peinture un peu moins bien... Il faisait zéro degré ! La référence d'Araldite avait été choisie en tenant compte de cette possibilité.

Chez Sika, on peut utiliser la colle Sikadur 31-colle sous réserve de confirmation du fournisseur.

Chez Ciba-Geigy, on peut utiliser l'araldite AV 138 M avec durcisseurs HV 998, HY 2978 ou l'araldite AW 134 B et N avec durcisseurs HY 994, HV 997. Toujours sous réserve de confirmation du fabricant.

Pour le collage du matériau antidérapant sur l'acier, il faut retenir que le collage se fait sur l'acier dégraissé, sablé et peint d'au moins 150 microns de peinture au zinc ou autre peinture de protection.

Il faut retenir que les plaques ne doivent pas être jointives, que les angles doivent être arrondis, que la colle doit baver uniformément autour de chaque plaque.

Les outils sont des spatules métalliques ou en bois, dentées ou à bord droit. Ils se lavent avant séchage de la colle à l'eau chaude et au savon noir. Ensuite, les vêtements ou les plaques peuvent être nettoyés à l'alcool avant séchage de la colle.

Voyez de plus amples indications sur les résistances de collages et sur les colles aux chapitres sur le collage des métaux entre eux. *(Photo C 89).*

23

L'ENTRETIEN DU BATEAU EN ACIER

GÉNÉRALITÉS

L'entretien de l'acier n'a pas la signification qu'on lui donne parfois avec dans la tête des cauchemars de rouille et de cloques.

Il faut bien partir de l'hypothèse que les peintures ont été faites, dans la gamme adéquate et d'une façon raisonnable.

Les aménagements et l'accastillage sont vissés et donc démontables.

L'entretien permanent sera celui de n'importe quel matériau y compris le

polyester : ne pas laisser s'accumuler les salissures. Car, sous elles, la peinture se dégrade et part lors des nettoyages poussés que ce début de pourrissement implique. On lavera donc de temps en temps les recoins du pont et de l'intérieur.

Et on s'aperçoit vite que l'entretien est inversement proportionnel aux précautions prises lors de la conception et de la construction.

Car c'est là le grand secret de l'acier !

L'entretien est très facile si la conception a été bonne. Il s'agit donc de prévention ! Les mesures préventives se prennent à la conception. Voyez ce chapitre sur la conception des bateaux en acier. Il faut éviter les recoins, les angles vifs extérieurs ou rentrés, lez zones inaccessibles, les volumes condamnés. L'eau doit circuler librement. Il faut éviter la stagnation de flaques dans des zones gondolées, des surfaces insuffisamment inclinées.

Il faut simplifier les montages, aérer les dispositions, donner du bombé et de la pente aux surfaces.

Puis il faut bien décaper le métal, bien le peindre.

Ensuite veiller à l'isolation et à l'aération. Rendre les apparaux et les aménagements amovibles. Mais cela ne sera utile qu'en cas de gros problèmes, abordage avec un obstacle, échouage, pour faciliter les réparations. Voir ce chapitre.

Le reste du temps, sur un ensemble sainement conçu, l'entretien est juste un lavage à la lessive douce et à l'eau claire non salée lorsque c'est possible.

Préventivement ! C'est là que tout se joue ! Une soudure en angle et voici une accumulation de saleté, la nécessité de brosser fort, l'usure de la peinture, l'apparition de la rouille. Un angle bien arrondi, tôle pliée, angle arrondi au tas, congé de mastic polyester dans un angle en creux, soudure en angle bien meulée, et les salissures partent d'un coup d'éponge, la peinture est ménagée, elle dure plus longtemps.

Tous les deux ans, sur un bateau bien conçu, il faudra faire des retouches de peintures sur les zones du pont les plus sollicitées par les manœuvres de voiles, de mouillage...

Côté coque, il y aura l'antifouling comme sur n'importe quel bateau à refaire à un rythme qui dépend de la qualité et de la température de l'eau.

Annuellement, il n'y a aucune raison que des travaux de peintures soient nécessaires à l'intérieur.

Bisannuellement, il faudra certainement repeindre certaines pièces d'aménagements, meubles, couchettes. On en profitera pour faire une grande lessive des fonds et repeindre de petites zones lésées par des frottements du côté de la descente, du moteur, du mouillage sous les planchers.

Nulle apocalypse à prévoir telle que démonter les aménagements tous les cinq ans, comme on le dit parfois ! L'intérieur d'un bateau ne se repeint (peintures de finition pour l'aspect ou de finition et de protection si vraiment l'acier a été atteint) pas plus d'une fois tous les dix à quinze ans s'il a été bien traité. Et justement, le but de ce livre est de vous dire comment vous y prendre !

Sur le pont, il faut prévoir un entretien superficiel permanent comme on entretient une salle de bains ou un bateau en polyester dont on souhaite qu'il reste joli à regarder.

Sur le reste du bateau, on se contentera de répondre aux nécessités des abordages. On peut affirmer haut et fort que si après un accident ayant atteint le matériau de construction de la coque, certes l'acier va couler la rouille, sera vilain esthétiquement, mais ni ne pourrira, ni ne délaminera ! même s'il reste ainsi, non repeint, six à douze mois !

Essayez cela avec du bois ou du polyester ! Ni l'acier, ni l'inox, ni l'alu ne se dégradent vite en profondeur. L'entretien n'est pas une question de solidité du matériau avant un délai de plusieurs années. Il ne faut cependant pas le négliger, d'une part pour le respect de l'image de l'homme de mer, et d'autre part pour la santé des revêtements de surface. Vite réparée, une peinture ne s'abîme pas plus loin que l'endroit où elle a été éraflée ou usée. Négligée, elle sera décollée de son support par l'humidité. Très négligée, elle sera à refaire en entier.

Mais un bon sablage, l'acier remis à nu, bien dépoli, un zingage, de nouvelles peintures, et voici le bateau reparti comme aux plus beaux jours, aussi neuf et aussi solide qu'à sa construction.

L'efficacité du revêtement et sa longévité dépendent du petit entretien permanent, lessivages, simple nettoyage de propreté. La couche de finition ne doit pas être trop négligée et il ne faut pas attendre que sa dégradation arrive jusqu'à l'acier pour intervenir.

Avant toute remise en peinture, il faudra dégraisser, décaper l'acier, le brosser, peut-être le sabler, et reprendre localement la gamme complète du système protecteur, du primer aux finitions. Mais les peintures de protection sèchent vite et le bateau peut être réutilisé sans trop de perte de temps. S'il en était autrement, les

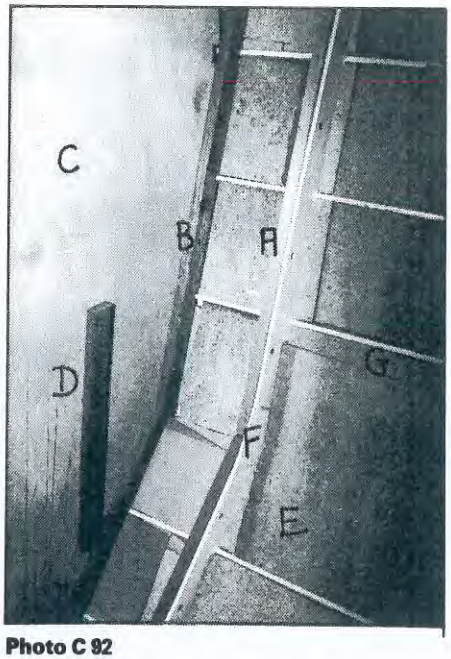


Photo C 92

A : Tasseau pour le vaigrage, sur membrure.
B : Tasseau d'arrivée du vaigrage sur la cloison.
C : Cloison en contre-plaqué.
D : Tasseau de fixation d'un équipet.
E : Mousse d'isolation.
F : Membrure, il faudra l'habiller de mousse.
G : Lisses, elles disparaissent sous une seconde épaisseur de mousse mince.

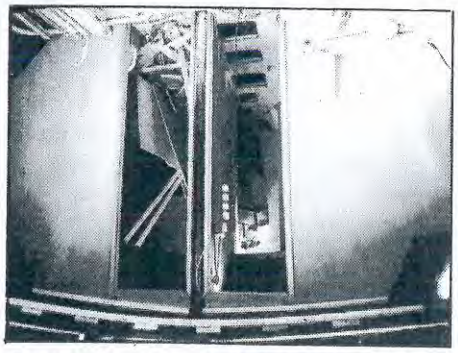


Photo C 95 : *Mauvaise chronologie de travail : les planchers ne doivent pas être construits les premiers.*

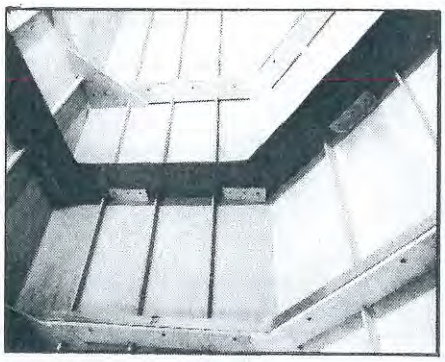


Photo C 93 : *Tasseaux de vaigrage de coque et prise de gabarit de cloison avec des bandes de carton.*

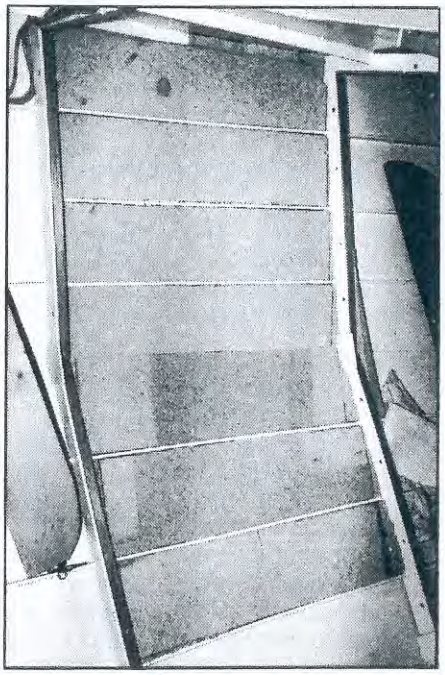
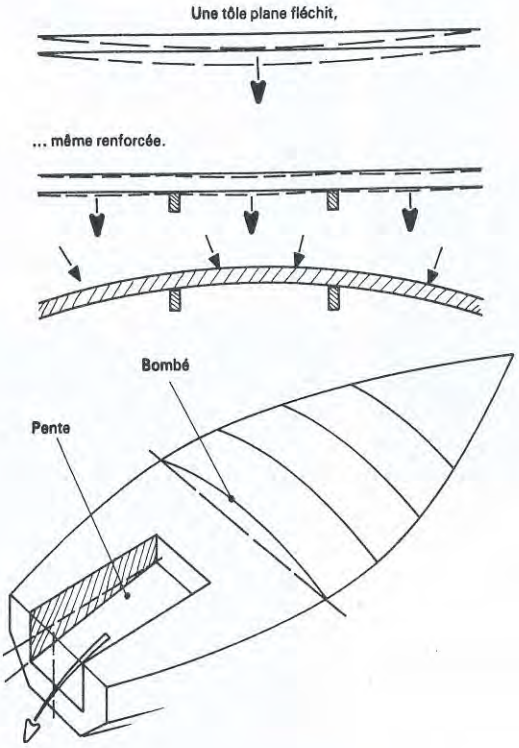


Photo C 94 : *Plaques de mousse (P.V.C.) entre les lisses et les membrures. On ajoute ensuite une seconde épaisseur en grandes plaques.*

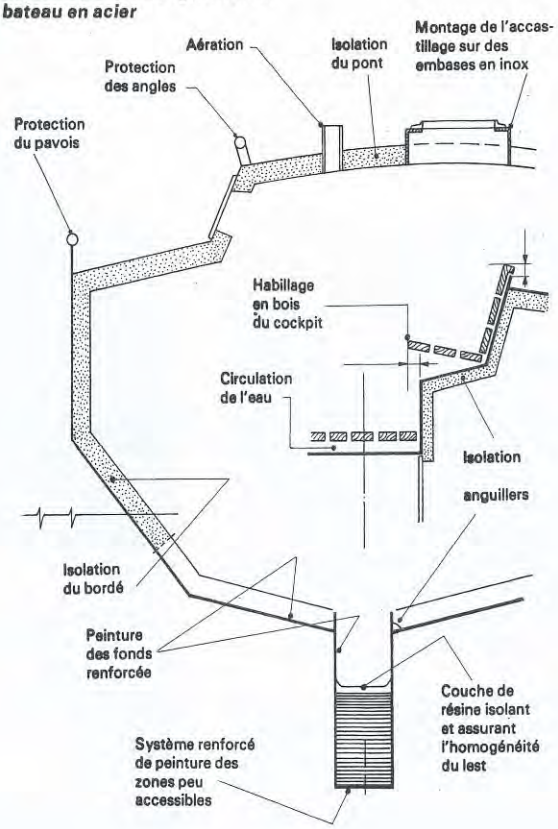
Croquis C 134 :

Toute surface métallique doit être bombée et (ou) en pente.



Croquis C 135 :

Détails facilitant l'entretien et accroissant la longévité d'un bateau en acier



marines de commerce et de pêche, dont on ne peut ignorer le souci de rentabilité, ne seraient pas en acier ! La mise à nu de l'acier doit déborder largement sur la peinture saine pour assurer la continuité du système et éviter que de l'humidité reste sous la peinture en bordure de la zone abîmée.

DETAILS FACILITANT L'ENTRETIEN

● Une bonne circulation de l'eau = anguillers, encoches en demi-lunes au point le plus bas des lisses, présence d'un puisard ou d'un point bas de récupération de l'eau.

● Une bonne aération = deux aérateurs mobiles et occultables par cabine ou par poste de vie, indépendamment des panneaux d'éclairage qui ne peuvent pas rester ouverts lorsqu'il pleut. Grilles d'aération dans les portes de placards. L'aération sèche l'intérieur et évite les moisissures.

● Une bonne isolation par une épaisseur importante de mousse sur toute la partie du bordé au-dessus de la flottaison et surtout contre le pont et le roof. Cette mousse d'isolation plaquée contre la tôle, non collée, évite la condensation. Il n'y a pas du tout de condensation dans un bateau en acier bien isolé.

● Une structure claire, sans recoins, espacée.

● Le moins possible de recouvrements.

● Des tôles bombées et en pente.

● Des soudures meulées et enduites de mastic. Surtout lorsqu'elles se trouvent dans le fond d'angles intérieurs, mais aussi lorsqu'elles saillent sur des angles vifs extérieurs.

● Des angles intérieurs ou extérieurs arrondis par pliage, au tas ou par tout autre moyen.

● Des soudures faites hors des angles.

● Le moins d'angles possible, des surfaces douces et nettes.

● Des angles protégés par les cale-pieds et les mains courantes en bois ou en inox.

● Des arêtes habillées d'inox soudé avec des baguettes ou du fil d'inox.

● Des détails en inox au lieu d'acier peint ou galvanisé là où s'exercent de forts ragages, cadènes, balcons, chandeliers, pavois.

● Des dalots d'évacuation de l'eau du pont évitant la stagnation de l'eau de mer ou de pluie.

● Des coussinets ou habillages bois ou plastique partout où il y a des frottements. Ne jamais faire glisser deux pièces d'acier peint ou galvanisé l'une sur l'autre.

● Un habillage en bois du cockpit.

● Des aménagements démontables construits logiquement en terminant par les parties horizontales qui devront être faites amovibles, y compris les planchers.

● Des lavages doux à la lessive et à l'eau douce.

● Naturellement, tout ce qui préventivement évite des soucis d'entretien est à retenir.

C'est-à-dire ce qui précède, ainsi qu'un acier bien sablé et bien peint si le bateau a été construit en tôles brutes ou bien dégraissé et bien peint s'il a été fait en tôles pré-peintes ; une bonne gamme de peintures ; une bonne application des peintures avec une température située entre 15 et 35°C et une hygrométrie voisine de 70 %, des temps de séchage respectés entre les couches de peinture ; un système de peintures homogène dont les composants sont tous compatibles entre eux. *(Photo C 92 à C 95. Croquis C 134 et C 135).*

24

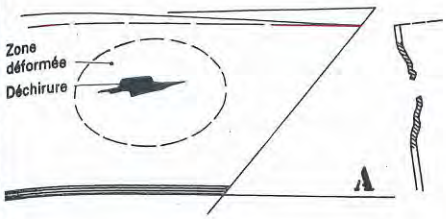
RÉPARATION D'UNE COQUE EN ACIER

L'acier doux est un matériau particulièrement facile à réparer. Pour le cas où un accident surviendrait, pièce arrachée du pont, bordé partiellement enfoncé ou crevé, il existe toujours une méthode permettant de réparer.

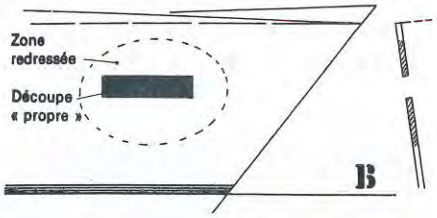
SOUDAGE

On peut trouver un poste à souder de 80. A.H. partout où s'établissent des pêcheurs ou des militaires. Il faudra sortir le bateau de l'eau autant que possible

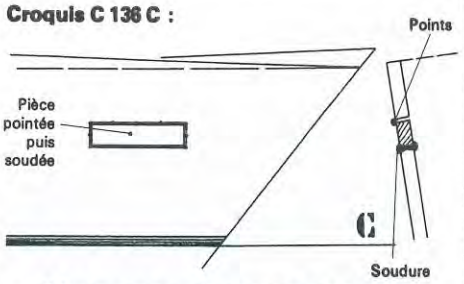
Croquis C 136 A : *Réparation d'une déchirure.*



Croquis C 136 B :



Croquis C 136 C :



— Il faudra ensuite décaper et peindre.

— Une réparation boulonnée sera faite de la même façon, mais la pièce rapportée recouvrira la découpe de 2 à 3 cm sur son pourtour.

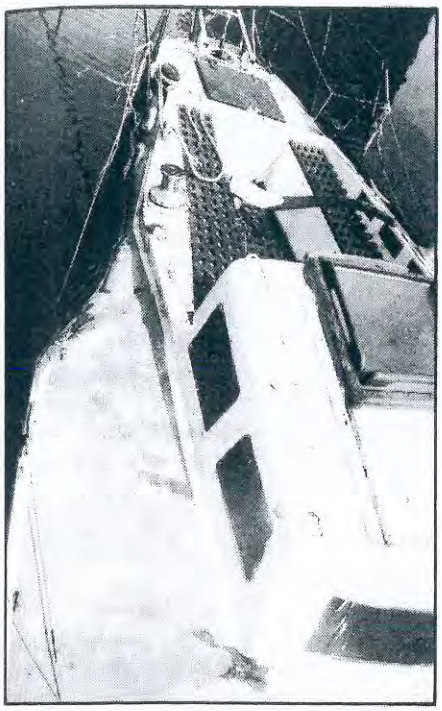


Photo C 97 : *Un voilier accidenté. Remarquez la faculté des structures modernes à absorber les chocs violents sans voie d'eau !*

et on soudera une pièce après avoir débosselé et plané le métal.

N'importe quel acier conviendra pour un laps de plusieurs semaines. Ensuite, il se trouvera bien une occasion pour assurer une réparation de meilleure qualité. L'acier peut rester non peint plusieurs semaines. On peut le graisser périodiquement pour limiter la corrosion.

Dans l'ordre, si le dommage nécessite d'accéder à l'acier par l'intérieur, il faudra démonter l'équipet ou les panneaux de vaigrage ou la partie de meuble qui masquent le métal. On enlève la mousse d'isolation. Vous saisissez là encore l'importance d'aménagements vissés et démontables, ainsi que l'importance d'une mousse d'isolation posée en petites surfaces non collées. Puis le travail de dressage et planage est effectué. Avant de souder provisoirement ou définitivement une plaque, il faut décaper la zone à souder. On évite ainsi les inclusions de zinc dans la soudure. Une plaque de forme simple est découpée autour du trou causé par l'accident.

Si le métal n'a pas été crevé il suffira, après avoir décapé l'acier, de le repeindre... si on a de la peinture !

Pour permettre à un bateau percé de regagner un port en vue de plus grosses réparations, on peut aussi souder une plaque par-dessus la tôle défoncée. J'ai eu ainsi un voilier (14 mètres, 15 tonnes) percé sur des roches où il était resté quinze jours faute de moyens de l'en enlever. Pris entre deux barges, il avait été soulevé de quelques cm hors de l'eau. Une plaque avait été soudée par-dessus la tôle percée... Et le voilier était rentré à la voile après une traversée de près d'une semaine pour une réparation définitive.

On peut aussi posséder à bord un poste à souder alimenté par le moteur qui fonctionne comme compresseur ou simplement entraîne un alternateur. On peut aussi avoir un petit poste fonctionnant sur du 220 V et produire ce 220 soit au moteur, soit sur un groupe électrogène. Il en existe de petits fonctionnant au mélange deux temps qui « *sortent* » du 12 ou 24 volts et du 220 V. Sur ce type d'engin, on peut aussi faire tourner une perceuse, une meuleuse, une scie sauteuse en 220 V.

Un bon bricoleur arrivera très bien à faire fonctionner un poste à souder en 80 AH sur le moteur du bateau.

UNE PLAQUE BOULONNÉE

Dans le cas où il serait impossible de souder une plaque ou la coque elle-même, il reste possible de poser sur la tôle percée une plaque boulonnée soit en acier, soit en contre-plaqué. On peut avoir dans le bateau une ou deux chutes de 3 mm dans ce but. On trouvera encore plus facilement dans les aménagements un bout de contre-plaqué de 10 ou 15 mm. Avoir quelques boulons inox Ø 5 mm d'avance n'est pas un luxe. Si on n'en a pas prévu, il faudra en voler aux vitrages les moins exposés ou aux aménagements eux-mêmes. L'étanchéité sera faite avec du joint Sika, Rubson, ou autre. Ou encore avec du caoutchouc volé à un panneau de pont. Voire avec du tissu imprégné de graisse épaisse.

Une ferrure arrachée. Il faudra cette fois faire un ancrage boulonné en récupérant un quelconque fer (voire fer à béton) dans le « *village* » le plus proche. A défaut de le souder, il faudra le boulonner. N'importe quelle ferrure, même une cadène peut ainsi être remplacée au moins provisoirement. Une traversée de l'Atlantique par exemple ou atteindre une île du Pacifique ne prendra guère plus de quatre semaines absolument pas suffisantes pour détériorer une plaque ou une ferrure provisoire non peinte et graissée régulièrement.

Il sera nécessaire d'avoir à bord un jeu de plaques, boulons, fers d'acier ou d'inox, joint étanche, graisse (stockée dans l'aileron de gouvernail !) et tout ce qui sera nécessaire pour réparer la coque ou le pont en acier. *(Photo C 97. Croquis C 136).*

25

DES SUPERSTRUCTURES OU UN PONT EN ALUMINIUM SUR UNE COQUE EN ACIER DOUX

Pour un peu surprenant que ce type de montage puisse paraître pour le néophyte, on rencontre très souvent des ponts et des superstructures en alliage d'aluminium sur des coques en acier doux. Le bateau allie de ce fait la solidité et la rigidité de sa coque à la légéreté et, à moindre titre, la facilité d'entretien de son pont.

Les marines de guerre, de commerce et de pêche usent depuis fort longtemps de ce procédé ainsi que la marine de plaisance pour des unités de grande taille à moteur comme à voile. Il est évident qu'un pont flush ou avec un petit roof ne gagne pas à être fait en aluminium. Par contre, la haute cabine d'une vedette à moteur ou d'un fifty sera bien plus légère en alu. Ce gain de poids intervenant dans les hauts aménera une vitesse accrue à la voile comme au moteur, moins de roulis, et une stabilité transversale améliorée.

Voici comment monter un pont ou un roof en alu sur une coque en acier doux.

UN PONT EN ALUMINIUM

La liaison entre le pont et la coque va se faire sur le pourtour du bateau.

La coque en acier est construite sans barrotage de pont mais avec une bande de tôle de pont appelée gouttière, soutenue par de solides goussets en acier doux. L'ensemble est traité et peint.

On boulonne sur des goussets des barrots en aluminium, en L généralement, pour des bateaux de 15 à 25 mètres.

Pour que le pont reste démontable, on rapporte les barrots non pas directement sur les goussets, mais par l'intermédiaire d'entretoises, les barrots eux-mêmes ne dépassant pas du bord de la gouttière dont la largeur varie de 10 à 15 cm.

Le pont en aluminium est alors pointé (chenillé) sur les barrots et riveté sur la gouttière.

Si le pont ne doit pas être démontable, les barrots en aluminium sont directement boulonnés sur les goussets en acier de la coque. Le pont est riveté sur la gouttière et chenillé aux barrots.

L'assemblage boulonné se fait avec des boulons en acier inoxydable et interposition d'un joint étanche collant ou non, mais d'un type « souple » et de longue durée : Sika, Rubson, etc.

Le pont en aluminium est posé sur la gouttière en acier, peinte, avec interposition d'un joint souple, collant ou non, de longue durée. Les rivets sont de type aveugle, étanche et dans le même alliage que l'aluminium du pont.

UN ROOF EN ALUMINIUM

On peut aussi choisir, quant à souder une gouttière en acier sur la périphérie du pont, de souder tout l'ensemble plage avant, plage arrière et passavants en acier. Ce qui se construit comme un pont classique en acier sur une coque en acier. On laisse le centre vide pour la fixation du roof. Sur le pourtour intérieur de la découpe, on soude une ceinture rigidifiant toutes les extrémités des barrots et facilitant la finition de menuiserie.

Le roof est rapporté comme tout à l'heure pour le pont en aluminium.

Les barrots de roof sont boulonnés avec joint étanche et vis inox. La tôle de roof, qui peut être rabattue à moins que ce soit la tôle du pont qui soit relevée, est rivetée sur le pont, peinte avec un joint étanche et des rivets d'aluminium, de type étanche.

L'un et l'autre de ces montages ne sont ni difficiles ni périlleux. Bien conçu l'assemblage n'expose pas à la corrosion galvanique. Pour des unités à roof volumineux, salon de pont, cabines très développées, timonerie, flying bridge, qu'elles soient voiliers ou vedettes à moteur, cette solution de gain de poids n'est pas à négliger.

Je pense qu'elle est aisément applicable pour tous bateaux de 10 à 25 mètres.

En dessous de cette taille le gain de poids n'est peut-être pas à la hauteur de la dépense engagée ! *(Croquis C 137).*

26

UN BATEAU D'OCCASION EN ACIER DOUX

LA VENTE

Il existe une grande imposture qui consiste à dire que beaucoup d'amateurs achètent leurs plans et ne construisent pas leur bateau. Il est vrai qu'à peu près 20 % (peut-être 25 %) des amateurs ne construisent pas leur bateau entièrement.

Certains pour diverses raisons tenant à la famille, la santé ou des mutations dans leur travail ne commencent rien et ont une perte sèche sur le montant des honoraires car « *revendre les plans* » est interdit. En effet, les plans ne sont pas une marchandise, un bien de consommation, mais le support visible d'un service correspondant à de la matière grise qui ne peut être ni prêté, ni loué, ni revendu, ni cédé. Il y a alors abus de bien voire faux et usage de faux si en plus une facture est remise ou, pire, si la facture d'honoraires avec T.V.A. est modifiée.

Le risque pour l'amateur n'est pas tant vis-à-vis de l'architecte qui pour la plupart, peut-on l'espérer, sont assez arrangeants, mais vis-à-vis du Trésor public, lequel s'estime volé du montant de la T.V.A. Le bateau peut alors être bloqué au port sans autorisation à naviguer.

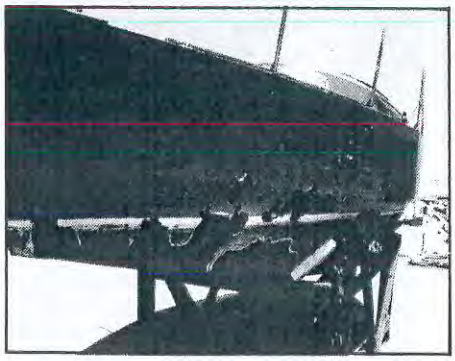
D'autres commencent le bateau mais abandonnent avant d'avoir bordé la structure qui reste ainsi sur le terrain, pointée au marbre. Une fois démontée, la structure peut être vendue, mais à peine plus cher que le prix de l'acier. La perte est alors du montant des honoraires et des frais entourant le début de la construction : transport de l'acier, outillage s'il n'est pas revendu, etc.

Ceux qui mènent leur bateau au stade du bordage même pointé et non soudé, peuvent revendre leur coque sans perte d'argent voire avec un certain bénéfice correspondant au travail exécuté. Dans ce cas, le dossier de plans est remis avec la coque.

De même un bateau se revend sans perte d'argent à l'état de coque pontée, à sec dans la mesure où elle est transportable (pointée) ou à flot, peinte ou seulement traitée. Il se vend aussi partiellement équipé ou terminé. Dans chacun des cas, les plans sont remis à l'acquéreur qui peut se renseigner auprès de l'architecte tout comme le premier propriétaire et bénéficie des mêmes droits. Par contre, toute fourniture de plan ou d'explications nécessitant un rendez-vous ou des croquis pourra lui être facturée. C'est l'usage.

On est bien loin du noir tableau que brossaient certains vautours et requins intéressés à la vente de bateaux barre en main.

Photo C 99 : ***« Pour en arriver là, il faut de la négligence et une durée d'abandon de plus d'un an ! Les couches de finition ont été mal appliquées sur les peintures au zinc ».***



L'ACHAT

Vus du côté du second propriétaire, les intérêts sont un peu différents puisqu'il cherchera souvent à limiter le prix d'achat et veillera à recevoir un ouvrage aussi bien exécuté que possible, et souhaitable.

L'achat d'un ensemble de couples et d'un ensemble de tôles et de profilés est assez délicat. Vérifier l'inventaire des tôles se fait facilement en les comptant et en les mesurant. De même pour les profilés. En principe, l'architecte aura fourni un débit matière qui permettra au nouvel acquéreur de vérifier l'inventaire. Si le tracé des couples est encore visible il sera possible aussi de faire quelques vérifications de mesures d'après le plan des formes. Sinon, il faudra mesurer les couples pour s'assurer que des erreurs n'ont pas été commises. La référence au plan des formes sera utile. C'est cette difficulté à juger le travail livré qui limite le prix de vente à une valeur proche du prix de l'acier.

L'achat d'une coque non soudée est peut-être ce qu'il y a de plus facile puisque le travail d'assemblage ne comporte à peu près rien de caché. La géométrie se voit. On regardera le bateau en lumière rasante et en le regardant tangentiellement et non de profil. On le « *caressera* » de la main pour sentir les déformations. Il suffira de vérifier la symétrie du bateau, sa géométrie générale, les lignes de brisure, la verticalité de la quille et du gouvernail. Si le bateau doit être transporté, on pourra tester la solidité des

points de soudure qui lient les tôles entre elles. On vérifiera aussi la liste des plans du dossier remis d'après une liste type fournie par l'architecte ou le vendeur.

Vérifier la coque pontée soudée est plus difficile, puisqu'il faudra s'attacher à contrôler la qualité des soudures. On les regardera d'abord avec soin pour voir s'il n'y a pas de défauts apparents à l'œil.

On peut aussi exiger un test d'étanchéité par ressuage. A peu près aucun autre test n'est envisageable sauf pour de très grands bateaux de valeur importante. On peut aussi requérir les services d'un *expert*. Cet *expert* peut être l'architecte, un autre architecte naval, un soudeur professionnel ou un expert maritime.

Ne confondez pas les architectes navals experts, les ingénieurs experts avec les Vrais Experts ! L'expertise est de toute façon question d'expérience !

Il faudra s'assurer qu'il n'y a pas d'oublis dans les cordons de soudure ou de nœuds de soudures excessivement chargés au détriment des tôles qu'elles lient. Voyez aussi le chapitre sur les soudures et les défauts de soudures.

Pour un bateau peint, les vérifications porteront naturellement sur la peinture. Difficile d'exiger de la gratter pour faire apparaître une soudure ou la tôle sauf si la peinture ne paraît pas en bon état. L'aspect doit être lisse, non poudreux, sans cloques, étoiles ou fendillements. A l'intérieur du bateau, il faudra regarder les angles du pont et de la coque, de la quille et de la coque, l'étrave et notamment le bas de l'étrave où la structure se resserre. Il faudra regarder l'aileron de gouvernail et vérifier qu'il est monté conformément aux règles de l'art. Voyez les chapitres sur le gouvernail et, dans l'ensemble, les chapitres du manuel de construction amateur et artisanale.

Pour vérifier que des pièces ont bien été faites en acier inoxydable, on peut les tester avec un aimant. Un acier inoxydable est amagnétique. Mais près des soudures ou dans des zones où le métal a été écroui par la mise en œuvre, l'acier inoxydable peut s'être remagnétisé et attirer l'aimant.

Dans d'autres Hors Série de Loisirs Nautiques, vous pourrez trouvez des éléments de jugement sur l'équipement d'un bateau ayant navigué et mis à la revente. Au bout d'un an de navigation, un bateau en acier est neuf pour ce qui est de sa solidité et de la santé de son métal. Par contre, ses peintures, ses équipements doivent être analysés en détail.

IL FAUT EVITER



- Un bateau dont les peintures présentent un « *joli* » aspect de surface mais d'inquiétantes boursoufflures sous la couche de finition qui a peut-être été repeinte pour appâter le nouveau propriétaire.
- Un bateau aux grosses soudures noueuses non meulées. Des surcharges peuvent essayer de masquer des défauts plus profonds.

Il faudra prévoir de sabler et prépeindre un bateau dont la finition de chaudronnerie est incomplète et qui a été peint... ou alors il faudra boulonner l'équipement à travers le pont, ce qui est regrettable pour une coque en acier comme en aluminium.

Il faudra prévoir de démonter des équipements en bronze boulonnés sous la flottaison tels que les passe-coques, ou remplacer une hélice en bronze par une hélice en aluminium.

Par contre, une coque pontée ou une coque sans pont restée jusqu'à cinq ans, non peinte, en extérieur, entièrement rouillée, peut être acquise sans grand risque si par ailleurs elle ne présente pas de défauts. En effet, on peut ainsi laisser dehors un bateau fait en tôles non décalaminées pour que l'oxydation décolle peu à peu la calamine et facilite le sablage. La rouille prend assez vite un aspect boursoufflé et épais, poreux, avec des écailles. Dessous, l'acier est sain et la perte d'épaisseur dans un délai de cinq ou six ans, pour des tôles non inférieures à 2,5 mm, est négligeable. Tout au moins ne rend-elle pas fragile un bateau dont les échantillonnages étaient suffisants. C'est d'ailleurs aussi le rôle de l'architecte, c'est ainsi que je le conçois, de prévoir des échantillonnages qui seront encore suffisants après une durée de vie du bateau qui peut inclure par exemple deux sablages après le premier sablage qui précède la toute première mise en peinture.

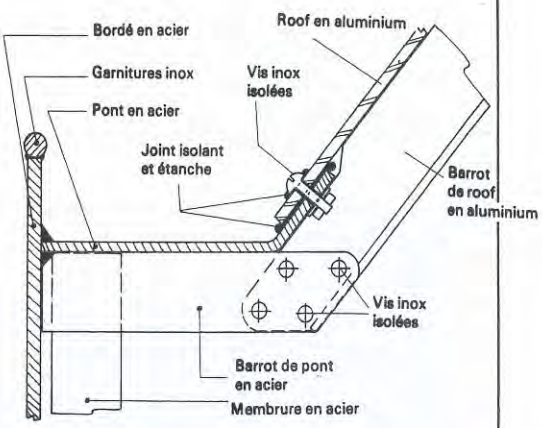
Un bateau en acier réserve peu de surprises à qui a su l'analyser avant d'en décider l'achat ou d'y renoncer. Le métal lui-même dans le délai cité plus haut, ne risque rien. Les soudures sont les points à observer de près et sans concession, ainsi généralement parlant, que tous les assemblages. Ce qui est vrai de tous les matériaux. Et justement l'atout des métaux est que les assemblages soudés, s'ils sont bien faits, ne sont pas hétérogènes mais possèdent la même homogénéité que le cœur des tôles ! C'est vrai de l'acier. C'est moins vrai de l'aluminium.

L'équipement sera à détailler comme celui de tout bateau.

Voyez les chapitres sur l'isolation, l'aération, les aménagements et le montage de l'accastillage, ainsi que le manuel de construction artisanale et amateur, et les détails sur les soudures. *(Photo C 99. Croquis C 137).*

La collection des Hors-Série Loisirs Nautiques est disponible. Voir bulletin de commande en fin de revue. Loisirs Nautiques, une véritable encyclopédie de l'architecture et de la construction navales.

Croquis C 137 : ***Superstructure en aluminium sur un pont en acier.***



27

UNE COQUE PONTEE EN ACIER, UN KIT

Achète-t-on un appartement tout équipé et aménagé, avec les lits à des places fixes, la table ici et pas là, le rangement défini une fois pour toutes ? Non, bien sûr !

Aussi était-il logique qu'un jour, ne fusse que pour pouvoir mettre soi-même son lit, sa table et ses placards là où on a envie qu'ils soient et non là où l'architecte l'a décidé, il fallait bien que les amoureux du bateau puissent acheter l'objet de leur passion, vide et non pas tout aménagé, déterminé, inamovible ad vitam eternam !

Et les finances aussi poussaient dans ce sens !

Il était logique qu'outre la commercialisation des bateaux barre en main, il existe une possibilité à ceux qui n'avaient pas le temps ou la flamme de construire intégralement leur unité d'en posséder une dans la taille qui leur convienne et au niveau de leur bugdet.

Ainsi est née la coque pontée :

Ce furent d'abord des amateurs qui se groupèrent pour faire construire quelques unités prévues pour la construction individuelle dans de petits chantiers artisanaux. Cela se passait entre les années 1968 et 1970 ? C'était de l'acier !

Depuis, plusieurs chantiers artisanaux ont proposé des coques à divers stades de fabrication et dans la plupart des matériaux usuels.

L'ACHAT D'UNE COQUE PONTEE

Certains acquéreurs disposent de plus d'argent que de temps libre, d'autres de plus de temps que d'argent. Aussi est-il

normal que les chantiers proposent divers stades d'avancement, d'élaboration des coques pontées. Il serait utile et agréable pour la santé du marché que ces stades soient les mêmes pour tous les chantiers. Au moins, chaque chantier doit-il annoncer clairement dans son catalogue et dans le contrat de vente, l'inventaire dont se compose chaque stade commercialisé.

Voyons-les, depuis les moins élaborés jusqu'aux plus élaborés :

● La coque non pontée. La coque possède toute sa structure et les barrots de pont ou au moins des « *tirants* », profilés soudés en travers de la coque pour la raidir tant que le pont n'est pas construit. En principe, ce stade n'est pas très intéressant car, pour un chantier professionnel, fabriquer le pont n'est pas très long. Le pont ne coûte en général pas trop cher alors qu'il nécessitera autant d'investissements en outillage de la part de l'amateur que s'il construisait tout le bateau. Pour de petits budgets et pour les personnes sachant travailler l'acier mais n'ayant pas le temps de tout construire, ce peut être une formule valable. A voir si le gouvernail est inclus ou pas. Il n'y aura pas les cadènes.

● Coque pontée sans aucune adjonction. Avec gouvernail et toute la structure, avec les cadènes ou sans. Mais sans le tube d'étambot du moteur, sans le ber moteur, sans embases d'accastillage ni encadrements de panneaux ouvrants sur le pont. La descente est découpée ainsi que les hublots de roof, mais sans encadrement particulier.

Selon les chantiers, l'ensemble sera en tôles brutes à sabler et peint ou en acier pré-peint. Dans ce cas, les retouches auront été faites avec de la peinture compatible avec le « pré-peint ». Ce sera en général une peinture au zinc. Les retouches sont faites partout où la peinture d'attente a été abîmée ou brûlée. Mais il n'y a pas de couche générale passée sur le bateau en plus de la pré-peinture et des retouches. Ce sera d'ailleurs la toute première chose à faire par l'acquéreur dans les trois mois suivant la sortie du chantier. J'entends par là après que le bateau ait été sorti du hangar où il a été construit ! Il faudra peindre l'extérieur et aussi l'intérieur.

● La coque pontée avec adjonctions dans la coque mais pas sur le pont. On peut commander la coque pontée dans l'état mentionné ci-dessus, avec en plus le berceau du moteur et le tube d'étambot de passage de l'arbre d'hélice. Ces suppléments sont facturés à part ou avec l'ensemble. Ils sont traités comme l'ensemble pour ce qui est du berceau moteur, en tôles brutes et sablées ou en tôles pré-peintes avec retouches en une peinture compatible avec la couche d'attente. Pour ce qui est du tube d'étambot, il sera le plus souvent en acier galvanisé. On soude le moins possible d'inox à une coque d'acier, sous la flottaison.

● Commandes complémentaires : on peut commander toutes les embases sur le pont pour un accastillage boulonné, acheté dans le commerce, fabriqué le plus souvent en aluminium de fonderie : chaumards, taquets, guindeau, winches, poulies de renvoi, rails de focs, barre d'écoute de grand-voile, embases de chandeliers et balcons, cale-pieds, mains courantes.

On peut aussi commander des apparaux soudés : rails de focs en plat d'inox, pattes d'écoute de grand-voile, pattes diverses en inox, pour poulies de renvoi, etc.

● Chaumards et bittes en inox, ferrure d'étrave et daviers d'étrave ainsi que daviers d'arrière pour les dériveurs, chandeliers et balcons en inox. En général, l'inox choisi sera du 304 L et si possible du 316 ou 316 L. Il devra toujours être poli et les soudures devront absolument être passivées à la pâte passivante (on dit aussi décapante).

Ce sera le cas des cale-pieds et mains courantes :

● Autre commande possible, les supports de panneaux ouvrants sur le pont, l'encadrement de la descente, le perçage des trous de fixation des hublots d'hiloire de roof. La plus grande concertation doit régner entre le propriétaire et le chantier pour que soient posés aux bons endroits les supports adéquats pour le matériel acheté.

Je conseille aux propriétaires d'annoter leur plan de pont et d'en remettre un double au constructeur. Sur ce plan figureront les références de l'équipement réellement acheté et son positionnement. Pour les perçages de fixation des panneaux de pont, plus que la référence du dormant, c'est le modèle lui-même qui servira de gabarit. Le propriétaire devra acquérir les apparaux et les confier au chantier s'il veut éviter toute mauvaise surprise dans les percements.

● Une coque finie de toute chaudronnerie comportera tous les élements soudés, au niveau du pont, du moteur, de la fixation des aménagements. Les membrures seront percées pour la fixation des cloisons et des tasseaux de support du vaigrage. Par contre, sauf accord différent, les fixations de hublots et de panneaux de pont ne sont pas pré-percées pour éviter des erreurs d'espacement des trous. Sur de telles coques pontées, il ne restera rien à meuler ou souder, mais il peut rester des perçages à faire.

● On peut aussi commander une coque pontée non seulement terminée de chaudronnerie, mais peinte entièrement ou de ses peintures de protection. Ceci permettra à un propriétaire très éloigné du chantier de laisser son bateau un grand nombre de mois dehors sans intervenir ! Faire peindre entièrement le bateau n'est pas une excellente solution car le système entier de peinture sera abîmé par la moindre trou à percer, ce qui n'est pas trop grave, ou par le moindre pièce à souder, ce qui est bien plus gênant !

Mais pour ceux qui ont vraiment peu de temps, c'est une bonne option. Il faut alors se mettre d'accord sur un devis et un choix précis de peintures ainsi que sur le nombre des couches et le mode d'application (pistolet, rouleau, pinceau). Un bon compromis consiste à appliquer soi-même la couche de finition qui permet d'obtenir un bateau impeccable.

Si la peinture de finition était appliquée avant le transport et l'aménagement, elle risquerait fort d'être rayée ou défraîchie.

● Une coque pontée peut être « *navigable* » dès lors que les passe-coques ont été mis en place et la coque au moins peinte de tout son système de protection. Un bateau peut être mis à l'eau sans ses peintures de finition, à condition d'être sorti de l'eau à un moment ou à un autre ! Le temps d'un transport fluvial, par exemple.

● Une coque peut être définitivement mise à l'eau avec son antifouling remontant à 15 cm environ au-dessus de la flottaison en charge, ses passe-coques, son passe-coque de loch et le sondeur. Le haut du bordé et le pont pourront être peints en échouant le bateau sur un slip à marée haute, à condition que le temps soit beau !

● On peut aussi commander une partie des aménagements, le cloisonnement par exemple, si le constructeur est équipé pour ce travail.

De toute façon, il faut pour chaque stade de travail commandé, un devis, un inventaire, un calendrier de travail et de versements, le tout constituant un contrat de vente (ou d'achat) en deux exemplaires.

UN KIT

Règler la question de la coque pontée et de ses différentes étapes de construction était une chose facile, faisant appel au bon sens et à la bonne volonté. Ce qui doit encore être possible, non ?

Par contre, définir exactement la possibilité de présenter des kits en acier est une autre paire de manches ! D'ailleurs, la difficulté est la même pour l'aluminium !

Tout d'abord, il faut définir le mot « KIT ».

Un kit est un ensemble d'éléments prédécoupés permettant en les assemblant de construire un objet complet. Le mode d'assemblage et les matériaux pour le réaliser étant inclus ou pas. Il est possible de fournir les couples découpés et assemblés ou à assembler, les goussets et divers autres détails compatibles avec un transport restant dans un prix raisonnable donc dans des normes courantes, mais pas de fournir les lisses autrement qu'en barres de 6 mètres, ni les fers du marbre



Photo C 101 : *« Un compas compensable pour bateaux en acier : le Major de Vion, un classique » (Photo Vion).*

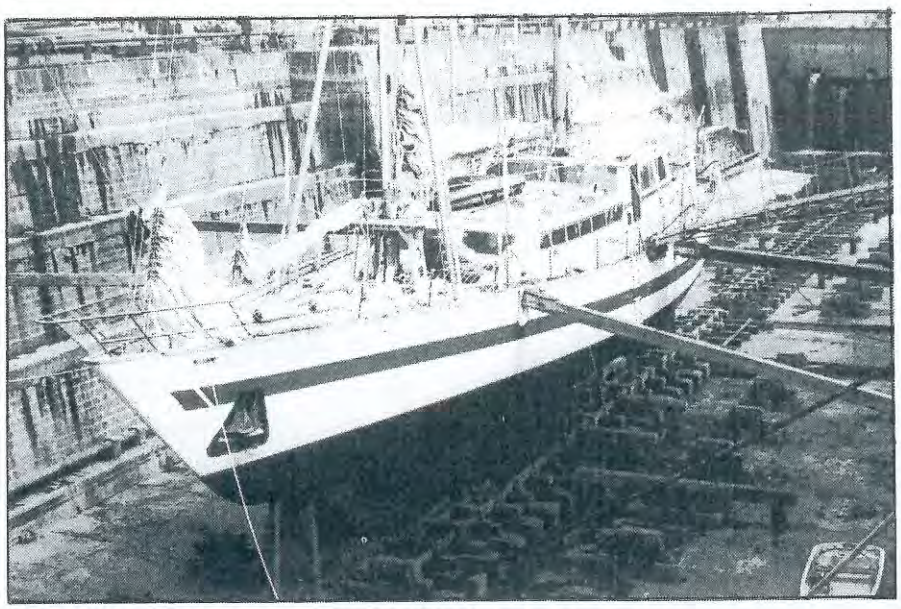


Photo C 96 : *« Seafari » en cale sèche. Ça coûte cher !*

dont le coût se trouverait grévé par le prix horaire de la transformation et de la manutention.

Tous les fers de récupération qui servent à assembler et à dresser les couples ne peuvent être fournis à cause de la disparité entre le prix de l'heure de main-d'œuvre et le coût de la matière (rapport voisin de 1 à 75).

Pour une raison différente, il ne semble pas non plus possible de livrer les tôles pré-découpées. En effet, une tôle va à une place et pas à une autre et son nerf la rend facile à mettre en place selon un axe, mais pas selon un autre. Il faut tâtonner lorsqu'on pose les tôles sur une structure pour trouver l'axe selon lequel chacune prendra le mieux la forme. Des tôles ne seraient naturellement pas pré-découpées après mise en place sur un gabarit car alors elles coûteraient très cher ! Elles devraient être découpées en tas à plat au sol, au plasma par exemple. Et peut-on être sûr qu'elles *« viendraient »* toutes bien à la forme désirée sur chaque structure dressée par les amateurs ? Par ailleurs, les amateurs montant eux-mêmes leur marbre et y dressant leur structure, peut-on être certain que les tôles ne seraient pas trop larges ici et, pire, trop étroites ailleurs, selon que des couples seraient légèrement mal positionnés ? Toutes ces questions restent sans autre réponse que de reconnaître qu'il est impossible ou très aventureux de proposer des *« kits »* prêts à être assemblés, à la différence d'avec le contre-plaqué dont les éléments de bois peuvent être mieux contrôlés. Mais à en juger par le marché, on voit que même dans ce matériau, la chose n'est pas si simple.

Reste la possibilité de proposer des ensembles de couples, ou des élements de cet ordre, préparés. Mais on peut douter de l'intérêt de cette formule, car ce qui est cher, avec l'acier, ce n'est pas le matériau, mais sa transformation !

Alors, quant à la transformer, autant l'amener à l'état de coque pontée.

De 1972 à 1982, sur plus de mille deux cents clients, je n'ai rencontré que trois personnes qui ont acheté des éléments à assembler, deux qui ont commandé des coques pontées mais non soudées (c'étaient des soudeurs professionnels) et quatre qui ont commandé des coques non pontées. Deux pour réaliser elles-mêmes des ponts en bois ; la troisième pour faire un pont en acier différent du pont standard. Elle a d'ailleurs regretté de s'être mis sur les bras un tel travail par comparaison avec le prix qui lui aurait été facturé au chantier fabricant de la coque. Et la quatrième pour économiser sur le prix d'achat.

En conclusion, je dirai que souvent l'acquéreur d'une coque pontée est une personne assez différente d'un Constructeur Amateur « à 100 % » bien qu'officiellement il soit aussi appelé *constructeur amateur* dans les règlements de la Marine marchande. Et cette personne se dirige vers l'acier pour son prix économique et sa solidité, un peu inquiète toutefois de savoir si elle s'en tirera bien et si l'entretien ne lui prendra pas trop de temps. Pour ce qui est de l'économie qu'elle cherche à réaliser, il est certain qu'elle commandera un bateau d'une taille compatible avec son budget et à un stade d'avancement qui lui semblera être le meilleur compromis temps-dépense. Elle fera alors une économie de l'ordre de 20 à 40 % sur un bateau identique vendu barre en main. Pour ce qui est de l'entretien, je lui suggère d'une part de consulter les chapitres qui traitent de ce sujet dans ce Hors Série et dans le Hors Série 5 de Loisirs Nautiques et, d'autre part, je lui conseille de se renseigner sur la possibilité de se faire fabriquer un pont en acier inoxydable. Un chantier habitué à travailler ce matériau, délicat et moderne, ou un chantier bien encadré lui fournira une telle superstructure sans danger de malfaçon. Et pourquoi pas un bateau tout en inox ? Le budget est voisin de celui d'un bateau en aluminium mais par la suite, l'unité possède la facilité d'entretien de l'alliage léger, la sécurité électrolytique de l'acier et sa solidité. *(Photos C 96 à C 101).*

Photo C 100 : *« Cockpit central sur un Vulcain 3. Notez les vitrages fixes bien boulonnés et non jointifs » (BRUMENT).*



D

MANUEL DE CONSTRUCTION

ARTISANALE - CONSTRUCTION AMATEUR

« Ce bateau qui se penche au souffle du vent et file en divisant l'eau, c'est une jolie machine. Le vent agit sur la voile inclinée, la quille résiste et le bateau glisse dans la direction de la quille, sous la pression du vent. Par cette marche oblique, il gagne (...) contre le vent, bientôt il vire de bord et recommence.

(...) Cette machine est une des meilleures machines. Toutefois, n'oublions pas tous les travaux (n.d.a = les corps de métiers) qui sont enfermés dans cette quille, dans cette coque frémissante, dans ces agrès qui chantent au vent.

(...) La puissance du bateau est faite de ces travaux accumulés, c'est une force humaine (...) ».

Propos d'Alain, 27 avril 1908

1

AVANT-PROPOS

Depuis 1974, *« Loisirs Nautiques »* a décrit, amélioré, mis au point, les techniques permettant à un artisan ou à un constructeur amateur de se construire une coque pontée en acier, puis d'en assurer la finition et l'armement.

Ces techniques ont vite évolué dans le sens de faciliter le travail, de le rendre plus sûr, plus efficace, plus rapide, moins pénible. Dans le sens aussi de rendre les bateaux plus sûrs, plus agréables à voir et à manœuvrer.

Voici les lignes essentielles des plus récentes méthodes pour chaque détail de la construction d'une coque pontée en acier. Ces conseils sont utiles à l'amateur travaillant seul ou avec d'autres amis sur un chantier communautaire. Ils le seront aussi au constructeur individuel assurant lui-même la finition et l'armement d'une coque pontée achetée à un chantier professionnel. Ils le seront encore à un artisan ajoutant à ses travaux habituels de charpente métallique, de chaudronnerie, de serrurerie, la construction de coques pontées sans passer réellement au stade de chantier naval ayant investi de façon importante dans un matériel spécifique destiné à produire un grand nombre de coques par an.

Utiles à l'artisan qui connaît bien le travail de la chaudronnerie et du soudage, mais a besoin d'être guidé pour éviter les pièges que lui tend la construction d'un bateau. Car un bateau c'est tout de même autre chose qu'une benne ou une citerne, même si les soudures d'un bateau ne sont pas du niveau d'exigence d'un réservoir ou d'une canalisation sous pression.

Dans les mensuels de *« Loisirs Nautiques »*, vous trouverez mois après mois le détail de l'étude de ce manuel de travail.

Ce manuel, sans rien oublier, ne détaille pas chaque opération en circonstanciant chaque choix de geste. De tels détails, dans un grand luxe de minutie et un grand souci d'objectivité, sont ce que les mensuels de *« Loisirs Nautiques »* vous offrent. Ils complètent ce Hors Série qui, lui, sert de fil conducteur aux mensuels.

Ce Hors Série décrit tous les stades de la construction en un seul ouvrage. Les mensuels, mois après mois, décrivent le menu de ces opérations. Deux façons indispensables et complémentaires pour vous aider et vous guider. Et aussi pour que nos ports n'aient pas à se vexer d'abriter des *« verrues »*, des *« poubelles rouillées »*, comme le furent parfois, dans le passé, certains bateaux construits par des artisans ou des amateurs livrés à eux-mêmes.

2

LES PLANS

Lorsque, étudiant et moniteur de voile, je m'intéressais aux raisons pour lesquelles un bateau navigue différemment d'un autre, les plans d'un bateau ne me semblaient être que le dessin des formes de sa coque, de sa quille, de son gouvernail, le dessin de son arrangement de pont, de son mât et de sa voilure.

Maintenant, je sais que cela représente trois à cinq plans sur les cent cinquante dont se composent mes dossiers de plans de construction, trente fois plus !

Voyons d'abord la liste des plans dont un architecte se prétendant capable de s'adresser à un constructeur amateur doit composer ses dossiers. On disait, vers 1970 à 1975, que les architectes qui travaillaient pour les amateurs n'étaient pas des architectes à part entière. Ceux qui le disaient ont compris que si ce n'est pas l'inverse non plus, cette affirmation était fausse. Il suffit d'analyser les dossiers de plans destinés aux professionnels de la construction navale pour en être convaincu, tant ils sont minces par rapport à

Désignation du plan	Nombre de détails nécessaires	Echelle usuelle de représentation
Formes de la coque	1	1/10 ou 1/20
Formes générales du pont	1 à 3	1/10 ou 1/20
Formes de la quille	1 à 2	1/10 à 1/20
Formes de l'aileron de gouvernail	1 à 2	1/10 ou 1/20
Formes du safran	1 à 2	1/10
Cotes de tracé des couples de construction réels		
Tracé d'un tableau arrière	1 à 2	1/10 ou 1/20
Tracé des barrots de pont	1	1/10
Figuration des formes transversales	1	1/10
Liste des formalités de construction	1	—
Liste d'adresses de fournisseurs	1	—
Numéro d'homologation	—	—
Débit matière permettant de passer la commande d'acier		
Factures de T.V.A. et autres contrats	3 à 4	—
Structure de la coque	1	1/20
Structure de la quille	1	1/20
Structure de l'aileron	1 à 2	1/10 ou 1/20
Structure du safran	1 à 2	1/10 ou 1/20
Structure du pont	1 à 4	1/20
Section type avec échantillonnage	1 à 3	1/10 ou 1/20
Plans des couples de construction selon taille du bateau	6 à 20	1/10 ou 1/20
Détails sur soudure de brisure	1 à 2	—
Construction de la quille	1 à 3	—
Epontille (s)	1 à 2	1/10 ou 1/20
Cadènes et renforts locaux	1 à 10	1/1 à 1/10
Disposition générale du gouvernail	1 à 2	1/1 à 1/10
Echantillonnage et renforts du gouvernail	1 à 2	1/1 à 1/10
Crapaudine - Jaumière	2 à 4	1/1
Mèche - Barre (s)	2 à 4	1/1
Détails de gouverne, références	2	1/1
Gréement dormant (avec longueurs)	1 à 3	1/20 ou 1/40
Gréement courant	1 à 3	1/20 ou 1/40
Espars, dimensions, références	1 à 3	1/20 ou 1/40
Voilure	1 à 3	1/20 ou 1/40
Plan de disposition de pont	1 à 3	1/10, 1/20, 1/40
Références et localisation de l'accastillage	1 à 3	—
Différentes versions d'aménagements	1 à 8	1/10 ou 1/20
Coupes des aménagements	6 à 20	1/10 ou 1/20
Echantillonnage de contre-plaqué	1 à 2	—
Notes sur les aménagements et la sécurité	1 à 2	—
Plan pour recherches personnelles	1	1/20
Plan de la descente	1 à 4	1/1, 1/10, 1/20
Montage d'un capot de pont	1 à 5	1/1 ou 1/10
Echantillonnage des vitrages fixes	1 à 5	—
Vannes et passe-coque	1 à 2	1/1 à 1/10
Plomberie	1 à 2	1/10 à 1/20
Berceau moteur	1	1/10
Disposition moteur, arbre, hélice	1 à 3	1/10 ou 1/20
Détails moteur, aération, échappement	1 à 3	1/10 ou 1/20
Localisation et liste des poids. Lest	1 à 2	1/10 ou 1/20
Eau. Fuel. Réservoirs	2 à 4	1/10 ou 1/20
Electricité. Batteries. Gaz	3	—
Caisse à batteries. Caisson à gaz	2	—
Balcons. Chandeliers. Embases	4 à 5	1/1 à 1/20
Lignes de vie. Pattes pour pouliage	2	1/1
Cale-pied. Main courante	2 à 4	1/1
Rails de foc. Ecoute de grand-voile	2 à 4	1/1 à 1/20
Ferrure d'étrave. Daviers	2 à 4	1/1 à 1/10
Chaumards. Bittes d'amarrage	2	1/1
Aérateurs. Boîte dorade	1 à 3	1/1 à 1/20
Isolation. Vaigrage. Aération	1 à 3	1/1 à 1/20
Peinture. Sablage. Décoration	1 à 3	—
Anodes. Surfaces à peindre et à protéger	1 à 3	—
Sécurité. Radeau de survie	1	—
Mouillage. Ancres. Guindeau	1 à 3	1/10 ou 1/20
Pompes. Extincteurs	2	1/10 ou 1/20
Equipement réglementaire	1	1/10 ou 1/20
Notes sur la peinture, les pigments colorés, les revêtements de pont, les vannes, les vidanges de cockpit, divers détails de pont ou d'intérieur, supports d'accastillage, puissance d'équipement et du moteur, etc	1 à 10	1/1 à 1/40

POUR UN DERIVEUR		
Plan des formes de la coque	1	1/10 ou 1/20
Transversales de la coque	1	1/10 ou 1/20
Version de pont	1 à 4	1/20
Plan général de gouvernail	1 à 2	1/10 ou 1/20
Détails de gouvernail	2 à 3	1/1 à 1/20
Plan général de structure	1 à 2	1/10 ou 1/20
Disposition générale du puits	1 à 2	1/10 ou 1/20
Echantillonnage	—	—
Formes et échantillonnage de la dérive	2	1/10
Axe de la dérive	1 à 2	1/1
Guides et blocage	1 à 3	1/1 à 1/10
Relevage de la dérive	1	1/1 à 1/20
Localisation des poids et lests	1 à 2	1/10 à 1/20
Courbe de stabilité	1	—

ce qu'il faut remettre à un amateur. **Un constructeur professionnel sait comment construire tel ou tel détail. L'artisan ou l'amateur ne le sait pas.** Il n'a pas encore construit de bateau. Il faut tout lui indiquer, jusqu'à d'aussi petits détails que la construction d'une caisse à batteries d'électricité ! **Etre un architecte qui s'occupe de construction amateur ne s'improvise pas.**

Un dossier de plans, digne de ce nom, pour constructeur amateur, comprend les détails suivants :

De quoi distraire l'apprenti architecte pendant deux ans !! Il est bien évident que les plans ont pour but de montrer ce qui va être construit, d'en donner les dimensions, d'expliquer, généralement et en détail, comment cela doit être construit, mais aussi d'exposer quand cela est utile, le rôle et la fonction de tel ou tel équipement. *(Photo D 1).*

3

LE SERVICE D'ARCHITECTE

En construction artisanale et amateur, le propriétaire est le maître d'œuvre de son bateau. Bien sûr, ce n'est pas sa profession ; aussi aura-t-il besoin plus que le propriétaire d'un bateau acheté terminé (« Barre en main »), de beaucoup de conseils pour ne pas gaspiller d'argent et de temps dans la finition et l'armement de son bateau.

Le rôle de l'architecte, mais aussi du constructeur artisan dans le cas de l'achat d'une coque pontée, est alors très grand et très précieux. Un simple coup de téléphone de cinq minutes peut permettre à l'amateur d'économiser (ou d'éviter de gaspiller) plusieurs jours de travail ou plusieurs milliers de francs.

L'architecte devra :

- Concevoir le bateau pour éviter les gaspillages d'heures de travail.
- Concevoir un bateau homogène pour un programme donné. Aucun bateau ne peut convenir à tous les programmes à la fois.

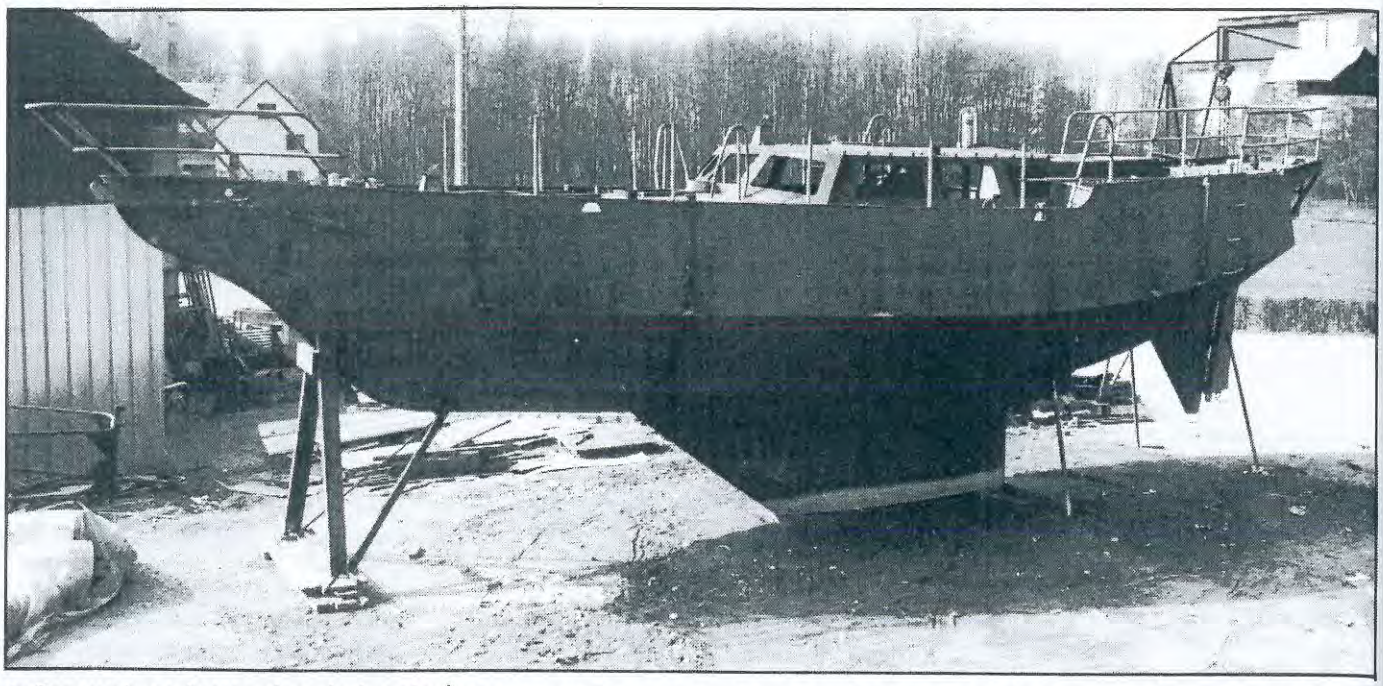


Photo D 1 : *A titre d'encouragement : le résultat à atteindre. Voici comment y parvenir... (Photo Cavois-Lardy).*

● Concevoir ce bateau dans le but de faciliter son entretien et ainsi d'accroître sa longévité.

● Conseiller sa clientèle pour l'orienter vers un bateau compatible avec le projet de navigation énoncé et le budget disponible.

● Renseigner sur les choix possibles de dispositions de pont, voilure, aménagements ; sur les options d'achat.

● Faire bénéficier sa clientèle de tous les services de renseignements, plans, vérifications et contrôles menant à la bonne réalisation du bateau.

● Etre capable de déceler, soit sur un essai, soit téléphoniquement selon la gravité ou l'éloignement, des anomalies en cours de réalisation ou après la mise à l'eau. Et guider le propriétaire vers une bonne mise au point de son unité.

LA FACTURATION

Maintenant, la facturation d'honoraires est soumise au taux moyen de la T.V.A. **En 1982 et 1983, ce taux est de 17,6 %. Taux imposé depuis le 1er janvier 1979, passant à 18,6 % en 1982. Il y a plusieurs types de facturation :**

● L'architecte peut être le maître d'œuvre. Il facture forfaitairement la conception, le dessin des plans, la surveillance du chantier avec les déplacements que celà implique, la remise du bateau au client, l'assurance qui couvre les risques du maître d'œuvre. Ces honoraires sont un pourcentage du coût global du bateau. Selon la taille du bateau, ce pourcentage varie de 5 à 10 % environ. En principe, on ne facture ainsi que la conception de bateaux de plus de quinze mètres.

● L'architecte peut limiter sa facturation à la conception du bateau et à sa surveillance dans le chantier, avec éventuellement essai de mise au point à flot. Mais il ne joue pas le rôle de maître d'œuvre, tenu alors par le propriétaire ou un tiers.

La facturation est un pourcentage du coût du bateau variant environ de 3 à 6 ou 7 %. Comme pour le cas précédent, ce type de facturation concerne plutôt des bateaux construits à une unité ou à un petit nombre d'unités, et au coup par coup. Ces bateaux ont une taille de 15 à 20 mètres au minimum.

● L'architecte peut encore ne facturer que la conception du bateau et l'exécution des plans. Si le propriétaire veut ensuite que l'architecte contrôle la construction, ce service est facturé au kilométrage et au temps passé.

En 1982/83, une heure de temps passé se facturait entre 150 et 250 francs selon le travail fourni.

Les honoraires sont encore un pourcentage du coût du bateau, variant de 1 à 5 %.

● Lorsqu'un chantier commande l'étude d'un nouveau modèle qu'il va offrir en coques pontées à sa clientèle par voie de publicité, l'architecte peut facturer un montant d'honoraires forfaitaires. Le constructeur est alors propriétaire de l'étude, et en général signe un contrat d'exclusivité, spécifiant que l'architecte ne réutilisera pas les plans tant que l'entreprise construira un certain quota de bateaux par an. Quota et honoraires sont débattus par l'architecte et le constructeur. Dans ce même cas, l'architecte peut aussi facturer une provision d'étude puis des royalties à chaque sortie de bateau. En 1982 il n'est pas rare que la provision soit un pourcentage de 1 à 5 % du coût du bateau, et les royalties un pourcentage de 0,5 à 1,5 %. Souvent, la provision est à valoir sur les 5 à 10 premières unités. Je parle de construction métallique. Les taux sont différents en fabrication en série en polyester.

En 1983, les royalties par unité livrée en coque pontée de 8 à 9 mètres sont de l'ordre de 3.000 à 4.000 F. Si le bateau est livré barre en main, ce peut être 50 à 100 % de plus.

● Lorsque l'architecte perçoit ses royalties, il délivre au propriétaire un dossier de plans de finition et d'armement du bateau ne contenant pas nécessairement les plans de formes et de construction.

● **Si l'architecte livre directement des plans pour les constructions amateurs, ces plans sont dits :** « Plans à commercialiser » ; il facture pour chaque dossier de plans des honoraires qui ne rendent pas l'acquéreur propriétaire des plans. Il s'agit d'un droit d'utilisation d'un seul dossier de plans pour construire une seule unité. Ce droit correspond à un service et pas à un objet. **Il ne peut être ni cédé, ni prêté, ni revendu, ni loué, sous peine de risques pénaux graves car assimilés à usurpation et à falsification. Ces plans comportent une facturation de T.V.A. Si le tricheur cède les plans sans cette T.V.A., le second acquéreur n'est pas en règle vis-à-vis du Ministère des Finances. S'il recopie les feuilles de T.V.A., il fait un faux vis-à-vis du Trésor public et reconnaît avoir encaissé de l'argent destiné à l'Etat.** Mais, plus intelligemment, l'un et l'autre se privent des conseils de l'architecte qui à eux seuls peuvent leur éviter des gaspillages largement supérieurs au montant des honoraires. Lequel montant, par exemple 3.500 à 7.000 francs pour une unité de 250.000 à 350.000 francs ne représente que de 1 à 1,5 % pour le 1er cas. Celà vaut-il le coup de prendre de tels risques ?

Dans le cas de plans pour construction amateur, l'architecte fixe ses honoraires en fonction de plusieurs critères. Soit en pourcentage du coût du bateau, soit forfaitairement et en fonction de ce qu'il estime raisonnable.

HOMOLOGATION

Pour la France, et seulement pour la France dans l'état où en est la réglementation européenne en 1983, les bateaux et plans de bateaux commercialisés doivent être homologués. C'est-à-dire qu'ils sont présentés à une Commission Nationale de Sécurité d'une vingtaine de membres qui analyse le travail et autorise ou refuse ladite commercialisation. Les bateaux sont classés en catégories qui hélas (jusqu'en 1983 tout au moins), ne tiennent pas compte des possibilités réelles des modèles mais seulement de leur taille. Le première catégorie donne toute liberté de navigation pour des voiliers d'au moins 10 mètres (en général). La seconde catégorie couvre une zone de 200 milles d'abri et est donnée en général à des voiliers de 8 à 10 mètres. La troisième catégorie couvre une zone de 60 milles autour d'un abri, pour des bateaux en général de 6,20 m à 8 m.

Pour les bateaux à moteur, la troisième catégorie correspond à des bateaux de 8 m à 20 m ; la seconde catégorie de 14 m à 25 m ; la première catégorie n'étant guère donnée qu'à des vedettes de plus de 20 mètres.

Lorsqu'un constructeur amateur acquiert des plans homologués, il doit ensuite construire son bateau selon les règles de l'art usuelles et conformément aux plans pour tout ce qui touche à la bonne marche du bateau, à sa solidité et à la sécurité. Il déclare la mise en chantier, puis la mise à l'eau au Quartier Maritime dont dépend son lieu de construction et de mise à l'eau. Il reçoit une « autorisation à naviguer » en fonction de la qualité du travail, et, surtout, de l'armement.

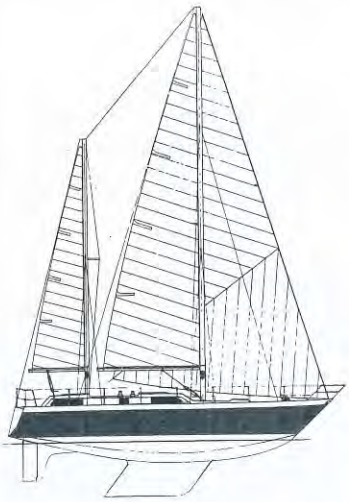
Chaque bateau doit être mesuré par les services des douanes pour chiffrer la taxe de francisation à payer au ministère des Finances. Tandis que les Quartiers Maritimes dépendent, eux, du Secrétariat Général aux Transports.

Un amateur qui fait lui-même ses plans doit aussi les présenter en commission pour autorisation à naviguer. il n'a pas le droit de commercialiser ses plans.

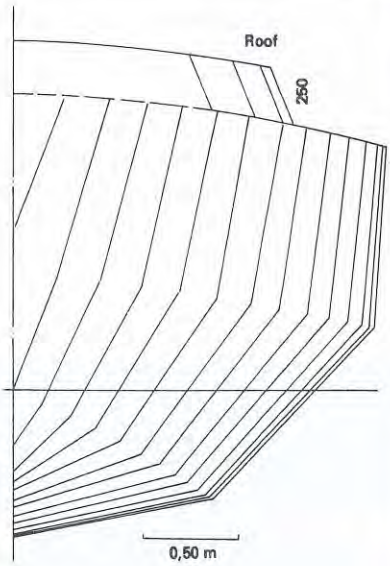
Un propriétaire peut fort bien requérir les conseils d'un architecte pour élaborer ses plans, qui, dès lors ne sont pas soumis à homologation, mais seulement à autorisation à naviguer. Ceci permet à l'architecte de facturer des honoraires de « conseil » moins élevés.

En règle générale, ne sont conçus spécialement, et à l'unité, que des bateaux de plus de 15 mètres, pour d'évidentes raisons de coût et d'honoraires.

Je combats aussi l'idée de fixer les prix en pourcentage du coût de revient des unités construites en amateur, puisque celà sous-entend que le service rendu par l'architecte est moindre pour une unité de 8 mètres que pour une unité de 12 mètres. La vérité est tout autre, car souvent le constructeur amateur d'une unité de 12 mètres a fait plus de bateau que le futur propriétaire d'une unité de 8 mètres. C'est donc le second qui a besoin de plus de conseils et d'aide !



Croquis D 2 : *Troll MK III*
Architecte Langevin



Croquis D 3 : *Formes avant d'Exploration*

EN ANNEXE

« *Constructeur amateur* », c'est le nom donné aussi bien à celui qui termine un bateau acheté en coque pontée, qu'à celui qui a construit tout son bateau, de la quille au mât ! Un constructeur amateur peut souhaiter être reçu par l'architecte de son bateau. Si ce rendez-vous n'implique ni dessin ni plans, l'architecte peut choisir de lui facturer ce rendez-vous ou pas. La base de 1983 et de 100 à 250 F par heure. Une heure commencée peut être facturée. Si ce rendez-vous implique des dessins ou l'exécution de plans complémentaires ou pour modifier un détail de plans livrés en standard, des honoraires seront facturés selon le temps passé par tranches de 100 à 250 F de l'heure, voire plus pour de grands cabinets d'architectes. Une étude supplémentaire sera facturée sur des bases à convenir entre l'architecte et son client avant l'exécution du travail.

En général, l'assistance téléphonique est incluse dans le montant des honoraires correspondant au « *prix des plans* », ainsi parfois qu'une assistance par courrier.

Les visites sur chantier sont facturées comme exposé plus haut.

En échange de ces honoraires, le propriétaire bénéficie de tous les services exposés plus haut. Mais aussi il a un droit total à la tranquillité et à l'anonymat. Il n'est absolument pas sain ni légal de donner des adresses de personnes ayant acquis des plans et construisant leur bateau sur un terrain privé à d'autres personnes qui se renseignent sur le même modèle et voudraient en voir un ! Par contre, il peut être utile pour les uns et les autres, s'ils sont d'accord, pour mettre en rapport des constructeurs amateurs travaillant à des bateaux similaires, voire même différents.

Les constructeurs amateurs ont autre chose à faire de leur temps libre que de se tranformer en représentants de commerce de leur architecte ! Sauf accord et facturation de commissions à déclarer.

LE METIER

« *Architecte naval* » est une appellation dite de « *fantaisie* », car la profession n'existe pas réellement en tant que telle.

Les « *architectes navals* » sont en général déclarés fiscalement sous une autre appellation, et exercent sous leur profession réelle, par exemple dessinateur concepteur, ingénieur, etc.

Les architectes de l'Ordre des Architectes ne considèrent pas les architectes navals comme exactement leurs pairs. Peu importe au fond si ce n'est le côté dérisoire de certaines publicités ayant l'air de dire : « Moi je suis architecte naval, quoâ ! »

Etre architecte naval, c'est être au service du constructeur et du propriétaire. C'est exécuter plus souvent un plan de gouvernail ou des calculs de stabilité que rêver sur de beaux plans de formes ! C'est un métier comme les autres, quoi, et qui ne laisse pas toujours assez de temps pour naviguer pour son plaisir !

En France, il n'existe pas d'école formant à la profession d'architecte naval. Il existe parfois des cours donnés par des architectes en fonction auprès d'organismes de formation libre. Il existe les possibilités des Beaux-Arts de déposer un mémoire d'architecture, non pas sur de l'architecture terrestre, mais sur les conceptions de tel ou tel aspect d'un bateau,

en général sur le thème de l'habitat restreint. J'ai fait partie de deux juries faisant passer ce type d'examen à deux étudiants aux Beaux-Arts en classe d'architecture. En Angleterre, il exite un cours d'architecture navale au Collège Technique de Southampton. Ce cours traite bien sûr plus de cargos que de voiliers de plaisance. On peut suivre des cours américains par correspondance. *(Croquis D 2-D 3).*

4

LA PREPARATION DU TERRAIN

A priori, il n'y aurait pas grand-chose de spécial à dire. En fait, il faut bien rappeler qu'un bateau va être construit sur ce terrain et qu'alors, il faudra pouvoir l'en faire sortir éventuellement sur un camion-plateau. Il faudra, si les dimensions d'accès sont un peu étroites, faire un dessin du terrain et une vue du dessus du bateau découpée dans un carton, pour s'assurer qu'il n'y aura pas trop de problèmes. Il arrive qu'une porte ou qu'un mur doivent être quelque peu écornés.

Le terrain gagnera à être à peu près plan. En tout cas, il faut éviter un terrain trop boueux pour la mauvaise saison, et les risques de s'électrocuter en réparant un outil électrique tombé dans une flaque. C'est hélas arrivé.

Pour l'été, le terrain gagnera à ne pas être trop poussiéreux, car le vent, un jour de peinture, tranformera votre laque en peinture antidérapante pleine de sable !

Attention, pour l'été aussi et encore pour les jours de peinture aux haies fleuries qui attirent les insectes, lesquels iront de fleur en fleur jusqu'à la peinture fraîche de votre bateau. Pour souder l'inox ou l'aluminium sous argon, il faudra éviter les courants d'air.

Si vous cherchez un terrain, consultez les services publics de la mairie, EDF, RATP, SNCF qui possèdent parfois des terrains non utilisés. Voyez du côté des gares non utilisées. Il y en a beaucoup... et des rails font un excellent marbre de construction. Pour les retournements, les petits transports et les mises à l'eau, en s'y prenant bien, il est possible de les obtenir pour « *pas trop cher* » auprès de l'Armée ou des Pompiers qui font cela à titre d'exercice.

Sur le terrain, il faudra une place suffisante pour le marbre de construction, un local abrité si possible clos, pour enfermer le matériel, peut-être une place pour une caravane ou une tente de camping, la table de traçage, le stockage des tôles. Prévoir de l'électricité avec un compteur loué à l'EDF (Force) et si possible de l'eau.

En moyenne, la préparation du terrain demande une cinquantaine d'heures de travail. *(Photo D 2. Croquis D 4).*

5

TABLE DE TRAÇAGE ET MECANO SOUDURE

Dans les plans remis par l'architecte figure le plan des formes du bateau où sont indiquées les cotes de construction de la coque, du pont, de la quille et du gouvernail. Il n'est plus admissible maintenant qu'un amateur ou un artisan soit obligé de tracer le bateau en vraie grandeur pour vérifier les cotes de construction, ou pire encore, pour les déduire des cotes de tracé.

En effet, l'architecte doit être capable de vous donner des cotes lissées et vérifiées. Ces cotes ne doivent pas seulement être celles des sections de dessin du plan de formes tel qu'il a été exécuté lors de la création du modèle, mais celles qui correspondent aux renforts de construction de la coque, du pont et de la quille.

Il suffira donc de tracer les formes transversales de la coque, du pont et de la quille. Pour ce faire, on utilise les cotes du plan de formes, **telles que le dessin d'arrangement de ce plan vous le décrit.** Les hauteurs des points de brisures et de « *râblure* » d'un bateau à bouchains vifs ou des lignes d'eau d'un bateau en formes figurent sur la vue des longitudinales dites « *longitudinales verticales* ». Les largeurs des points de brisure et du livet, les largeurs des couples à chaque niveau de ligne d'eau d'un bateau en formes sont sur la vue dite « *longitudinales horizontales* ». On se sert des unes et des autres pour tracer en vraie grandeur les « *transversales* ». Les longitudinales verticales sont sur la vue dite d'Elévation ; les longitudinales horizontales sont sur la vue dite en plan, vue complète ou plus généralement demi-vue si le bateau est symétrique tribord-bâbord ; les transversales sont aussi appelées Couples.

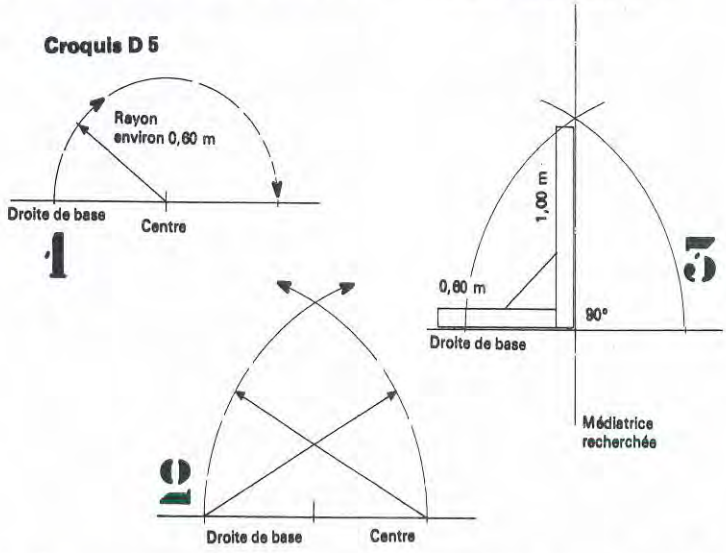
Ces cotes sont à mon avis plus faciles à consulter lorsqu'elles sont indiquées directement sur le plan des formes. Pour quelqu'un que sa profession ne prédispose pas à être familiarisé avec le métier de dessinateur ou d'architecte, je pense que cette disposition facile et immédiate à lire vaut mieux qu'un plan vide avec un tableau de cotes à part.

Pour tracer ces transversales qui seront le profil des couples de construction, il faut un espace plan et rigide, propre et lisse, un peu plus haut et plus large que n'est haute et large la coque pontée sans sa quille. Comme on aura besoin de ces tracés quelque temps, qu'on marchera dessus, autant les faire non pas sur une feuille de contre-plaqué, mais sur une tôle. On construira donc une table d'après les indications figurant sur le dessin de la table à tracer. Le « *flan* » sera tracé sur une tôle. Ce sera soit une tôle déclassée achetée à cet effet, de 4 ou 5 mm d'épaisseur, ou les tôles de quilles de bateaux éventuellement complétées par des tôles du bordé le plus épais. Tracer sur les tôles du bateau n'est pas dangereux pour le métal si c'est de l'acier. C'est exclu pour un bateau en aluminium ou en inox, car les rayures ne disparaîtront pas comme pour un bateau en acier sablé et peint. Ces lignes s'adressent à des artisans comme à des amateurs, et c'est pour l'artisan, soudeur ou chaudronnier professionnel que je parle de constructions en aluminium ou en inox car je les déconseille aux amateurs. Sauf un pont inox sur une coque en acier doux.

Les lignes seront tracées à la pointe au carbure et les points repérés au pointeau.

On se munira d'une règle en métal, de 1,50 à 2,50 m de long, d'une équerre métallique de grande dimension qu'on fabriquera soi-même. Voyez le chapitre sur le tracé des couples.

Croquis D 5



Détermination de l'angle droit 0 de référence/axe vertical, et confection de l'équerre.

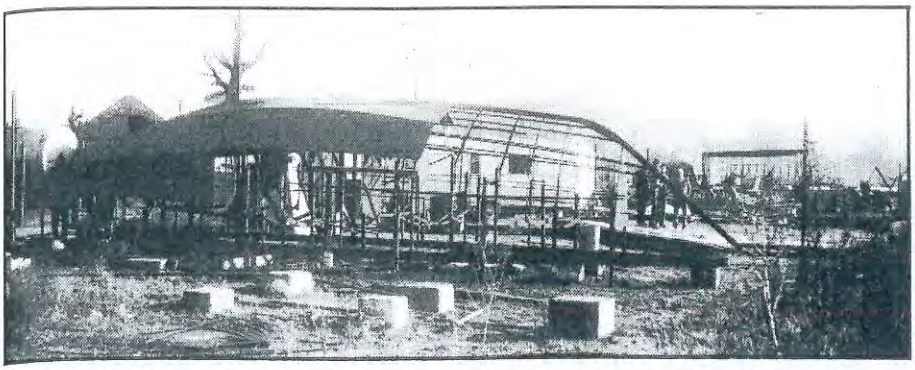
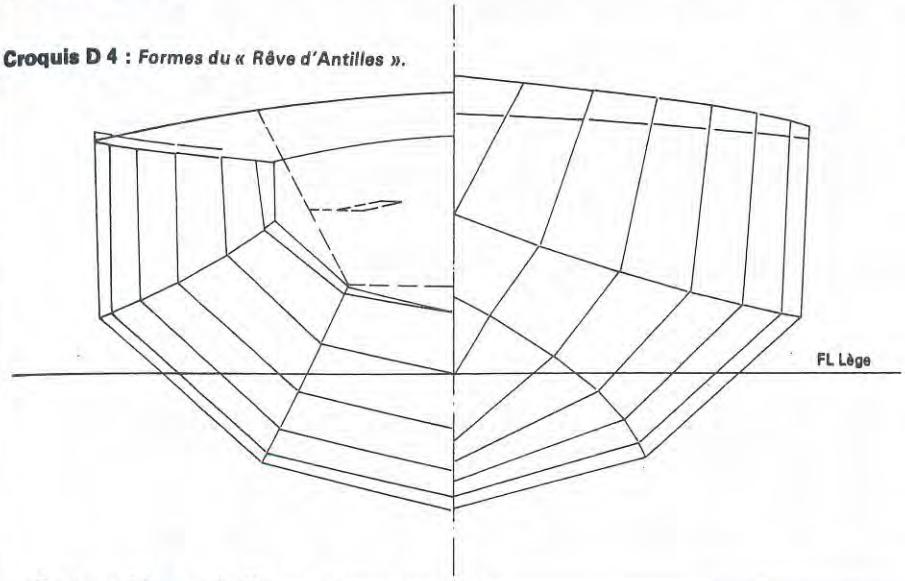


Photo D 2 : *Marbres pour construction amateur. Ces marbres en losange, démodés sont typiques des années 1970-75.*

Croquis D 4 : *Formes du « Rêve d'Antilles ».*



Cette table, métallique, permettra l'assemblage sur place des tronçons de couples et barrots sans être détériorée, ce qui serait le cas d'une table en bois ! C'est capital !

On peut même choisir de la garder assez longtemps pour y pré-découper les cloisons des aménagements !

Une table sera construite en une dizaine d'heures. Le plateau sera en tôle de 4 ou 5 mm, par exemple, et supporté par un piétement et des croisillons en IPN de 100 à 120, voire 140.

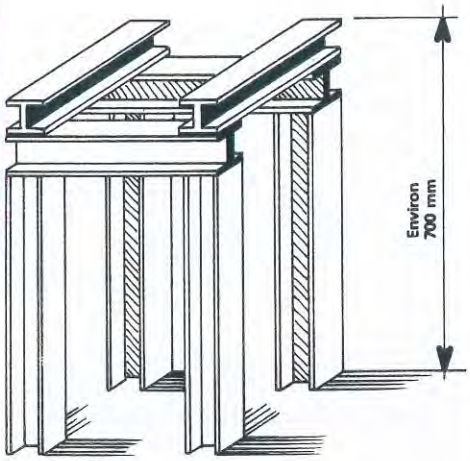
ENCLUME DOUBLE

Il pourra être utile de fabriquer une enclume pour frapper et cintrer différents fers, tels que les barrots, le fer de brion et cintrer d'autres pièces en acier doux ou acier inoxydable.

Cette enclume doit être solidement plantée en terre. Elle doit être aussi lourde que possible. On la construira en IPN ou UPN de 100 ou 120. Elle sera constituée de quatre pieds, deux traverses basses. Puis d'une « *table* » faite de quatre IPN surmontée de deux INP qui recevront la frappe. Le tout solidement soudé !

Le carré intérieur de la table pourra mesurer 60 cm de côté. La hauteur totale sera voisine de 70 cm. *(Croquis D5-D6).*

Croquis D 6 : *Enclume double.*



6

MARBRE DE CONSTRUCTION

POUR PLUSIEURS BATEAUX DU MÊME MODÈLE

Si un artisan veut construire plusieurs unités d'un même type, il aura intérêt à fabriquer un châssis de construction (appelé marbre ou châssis) assez élaboré et rigide. Le niveau de ce châssis sera repéré et tracé sur la table à tracer, lors du dessin des formes transversales. Le niveau, face supérieure de ce châssis, est coté sur le tracé des transversales soit par rapport au zéro de référence.

Le châssis est constitué, comme le montrent les dessins de deux IPN (de 120 à 160) longitudinaux parfaitement dressés de niveau sur des plots en béton auxquels ils sont soudés par des fers noyés dans le ciment. L'espacement des deux fers longitudinaux est un peu inférieur à la largeur du bateau.

Transversalement, on trouve autant d'IPN de 100 à 140 qu'il y a de couples de construction. Il ne s'agit pas ici d'une construction sur gabarit décrite dans les méthodes de construction, mais de construction directe sur la structure finale du bateau, dont peuvent d'ailleurs faire partie un ou plusieurs couples provisoires ne restant pas dans le bateau et servant alors de gabarit. Ces IPN transversaux gagnent à être bien disposés de niveau. Ils sont espacés des intercouples indiqués sur le plan de formes et cotés par rapport au milieu de leur largeur. Des petits bouts de cornière en L sont soudés sur ces IPN transversaux, de façon à recevoir soit l'angle des couples (angle pont/coque), soit le prolongement des couples au-delà du barrot. Les couples peuvent être boulonnés à ces cornières. Dans ce cas, ce sont les trous de fixation dont on assurera un alignement parfaitement rigoureux. Ils peuvent être pontés. Dans ce cas, les couples reposeront sur des butées soudées à demeure et qui marqueront leur mise en place définitive et directe.

POUR UNE UNITE : CHASSIS A IPN CENTRAL

Parfait pour l'amateur ou l'artisan qui construit une seule unité du même modèle, ou intercale des constructions d'unités de modèles différents, ce marbre marqua un net progrès lorsque je l'ai décrit pour la première fois dans *« Loisirs Nautiques »* en 1978. Ce marbre, appelé « à IPN central » est maintenant adopté par tous et semble une évidence.

Dans le passé, on repérait les couples par rapport au niveau de la flottaison. Il fallait donc construire sur les couples un croisillon à cet endroit-là, et tendre au-dessus du marbre qu'on faisait à l'époque (les années 70) en losange, une corde à piano symbolisant la flottaison. Compliqué et peu rigoureux.

Ici, on se donne un niveau en dessous du barrot le plus bas, bateau à l'envers. Lorsqu'on trace les transversales, on se fixe un point dans

l'axe de façon à laisser entre le pourtour du livet et le sol, la place de passer sous le bateau sans trop ramper : 60 cm par exemple.

Ce point est au-dessus du point le plus haut du pont, bateau à l'endroit. Il est arbitraire. Il ne sert que de repère. Dans le marbre, c'est le dessus de l'IPN central. Ce peut même être un alignement de cales pointées ou soudées sur le dessus d'un IPN pas très droit, pas très plan, et pas tout à fait de niveau !

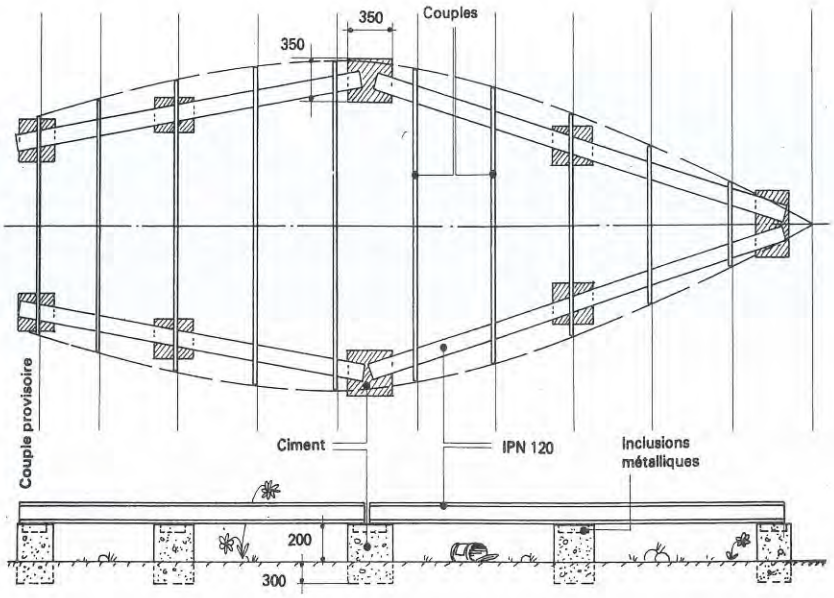
On disposera donc d'un IPN central dans l'axe du bateau, un peu plus long que la coque. Ce peut être deux IPN bout à bout.

Les couples seront positionnés par rapport à lui, comme décrit plus loin. Les couples seront maintenus en place par des cornières auxquelles ils seront serrés (pince-étau, serre-joint) ou pointés en deux points de chaque côté.

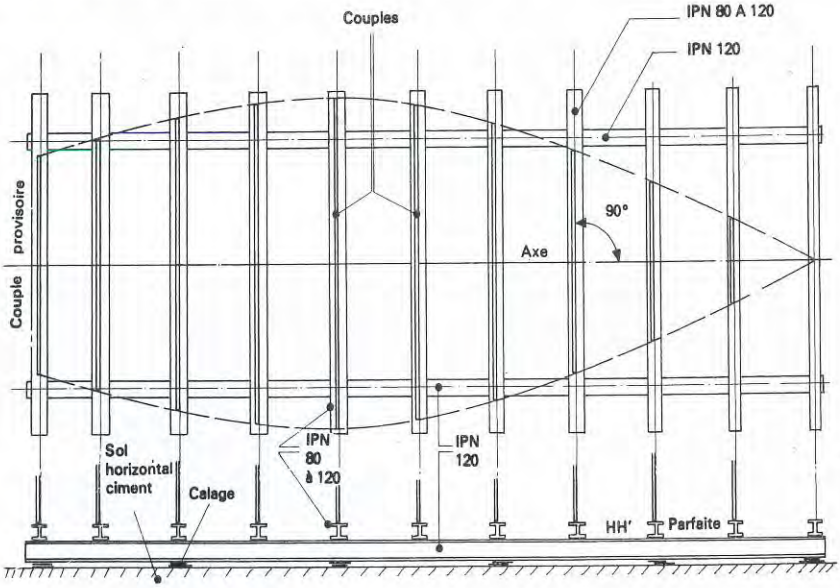
Ces cornières reposent sur des IPN inscrits dans le pourtour du livet. Ces IPN sont simplement immobilisés mais ni mis de niveau, ni alignés. **Les dessins explicatifs montrent l'inutilité de perdre du temps à les aligner.**

Notez les poids réels supportés par tous ces fers des châssis, et vous comprendrez qu'il est inutile de choisir des IPN de forte section.

Supposons deux coques. Lorsqu'elles reposeront sur les IPN, elles n'auront donc pas leur pont ! Ce sera la coque, la quille, l'aileron de gouvernail, et, par exemple, une ou deux personnes en train



Croquis D 7 : *Marbre en losange classique au début des « années 70 ».*



Croquis D 8 : *Marbre pour constructeur professionnel, artisan.*

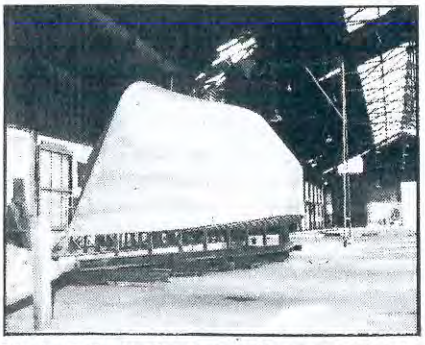


Photo D 5 : *Un 8 mètres acier en construction amateur (Photo M. Portier, constructeur amateur).*

Photo D 4 : *Marbre pour construction professionnelle artisanale.*

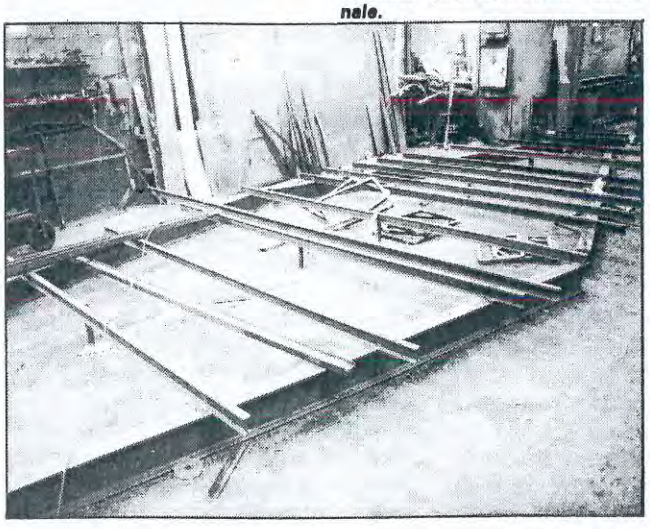
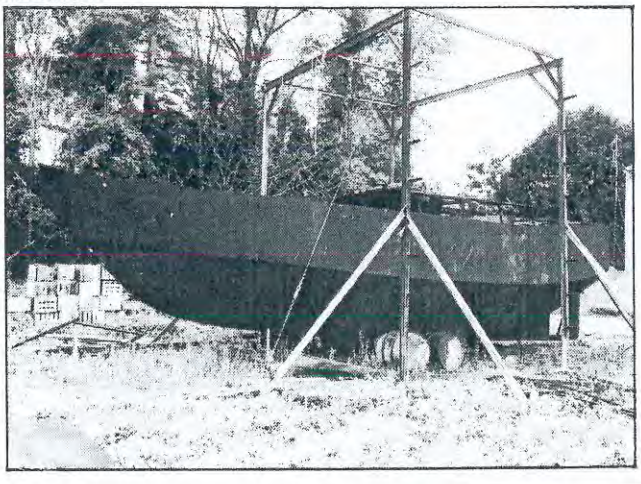
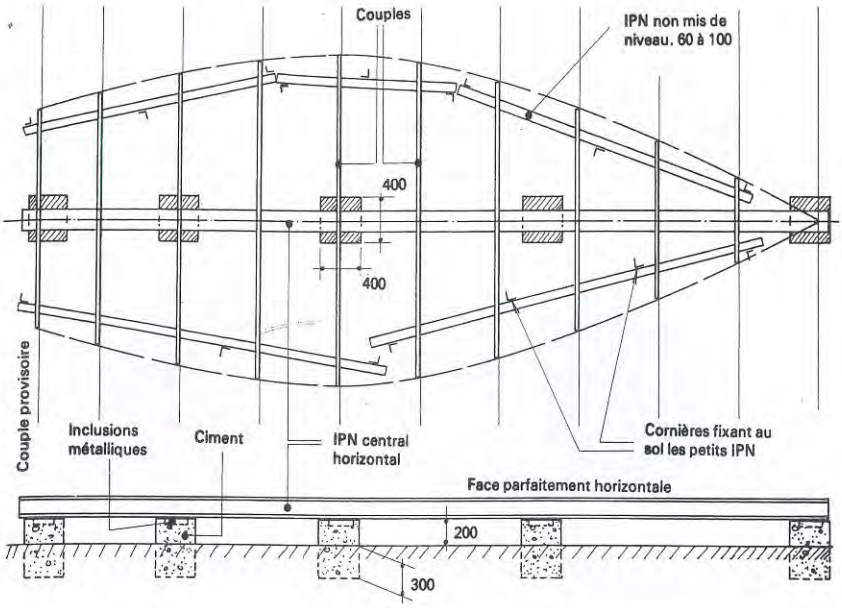


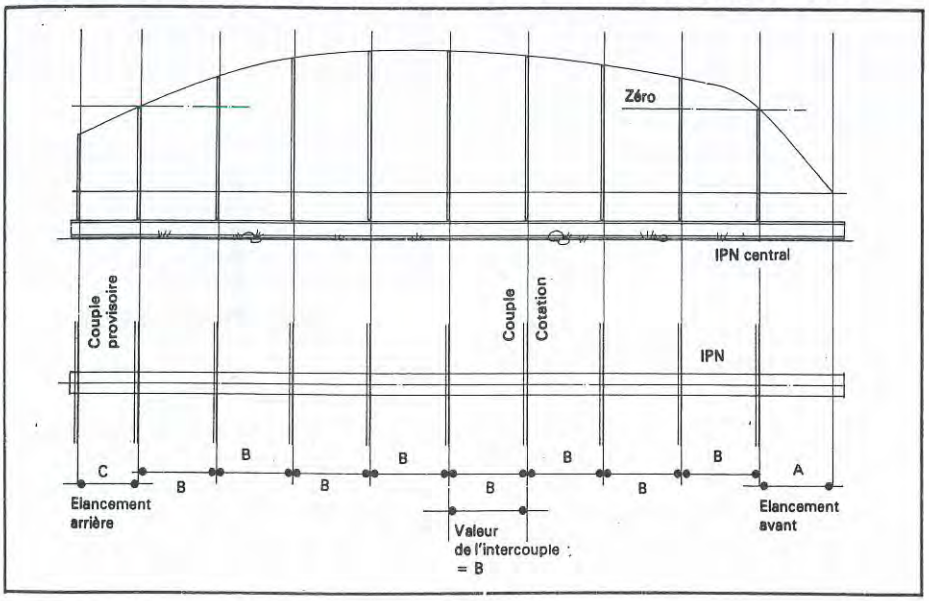
Photo D 6 : *Portique de construction amateur pour construire et retourner ce dériveur.*

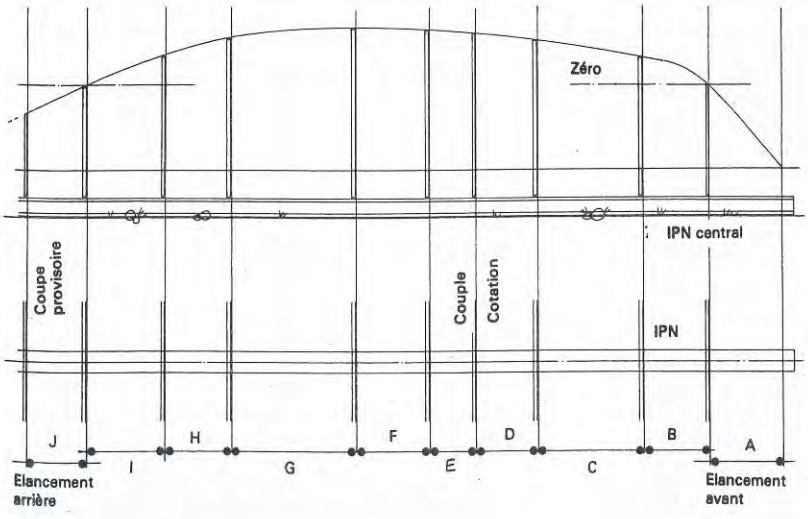


Croquis D 9 : *Marbre à IPN central que j'ai mis au point au milieu des « années 70 » pour tous constructeurs.*



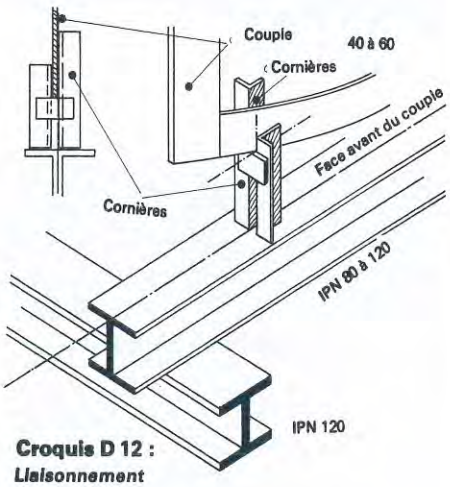
Croquis D 10 : *Structure à intercouple régulier : peu de cotes à mesurer, peu de risques d'erreurs.*



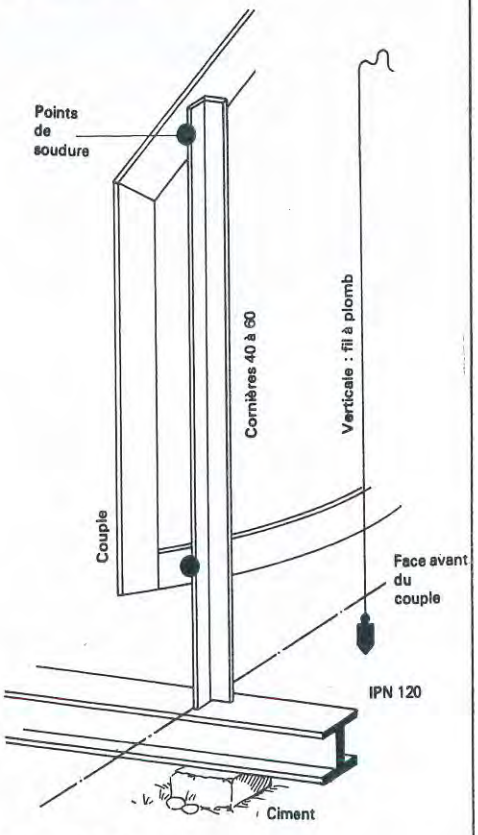


Croquis D 11 : *Structure à intercouple variable : attention à ne pas se tromper en mesurant les valeurs des intercouples.*

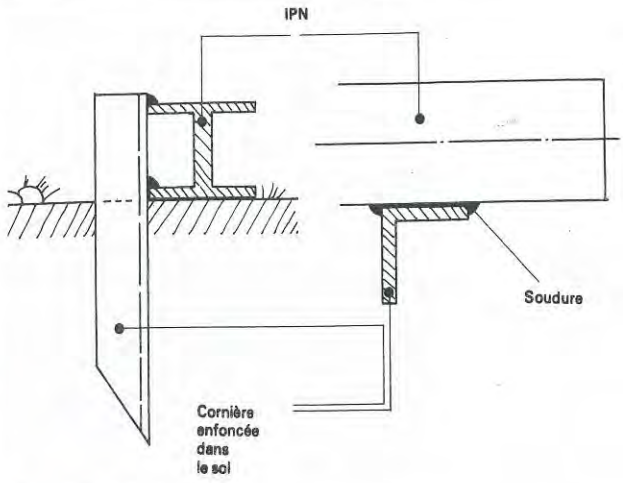
de travailler. Un couple repose en trois points. Supposons une coque de 9 mètres et une autre de 15 mètres. La coque de 9 mètres va peser près de 1.800 kg ; celle de 15 mètres pas loin de 5.000 kg. On peut considérer comme vraisemblable que le poids sera par point de contact bateau/marbre, de 60 kg pour 9 mètres, et 160 kg pour 15 mètres. Soit 210 kg avec deux personnes sur la structure du premier et 310 kg dans ce même cas pour le second ! C'est tout ! En règle générale, des fers en I, H ou U de 120 à 160 conviennent tout à fait bien pour les éléments longitudinaux et 100 à 120 pour les autres. *(Photos D 4 et D 5. Croquis D 7 à D 15).*



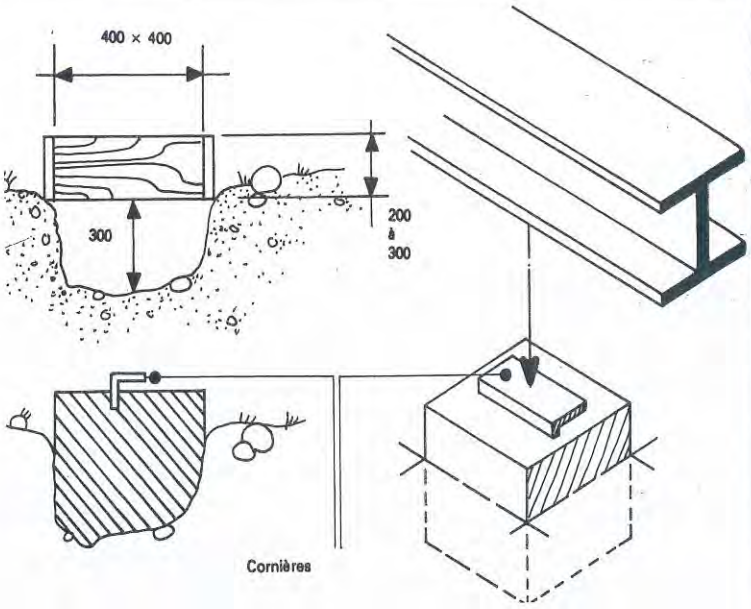
Croquis D 12 : ***Liaisonnement d'un couple au marbre de construction professionnelle***



Croquis D 13 : ***Liaisonnement d'un couple à un marbre en losange***



Croquis D 14 : *Fixation au sol des IPN secondaires du marbre à IPN central.*



Croquis D 15 : *Plot en ciment et insert métallique pour fixer au sol l'IPN central.*

7

UN PORTIQUE

Ce principe de portique de retournement a été décrit dans les numéros mensuels et Hors Série (6) de « *Loisirs Nautiques* ». Je n'y reviendrai pas complètement. **Je précise simplement la particularité de la construction métallique** : on peut avoir à lever au palan soit des tôles, soit la quille, soit la coque lors du retournement. On peut alors choisir de faire un portique léger pour lever les tôles et la quille, soit deux portiques solides qui serviront aussi à retourner le bateau. Il n'y a pas de règle. Mais si vous prévoyez, faute de place, de faire retourner le bateau par une grue (toujours la coque sans son pont), inutile de faire des portiques supportant beaucoup plus que le poids des tôles ou de la quille, si celle-ci est bâtie au sol puis grutée.

Si vous prévoyez de rouler le bateau sur le côté pour le retourner, de même, faites un portique léger.

Si vous bâtissez de plus les quilles directement sur la structure de la coque, alors le portique sera léger. Voire inexistant car on peut se servir de la quille alors soudée à la structure de la coque pour lever les tôles ! Cherchez la solution la plus simple, la plus économique ! Deux portiques pour lever la quille d'un bateau de 15 mètres devront soutenir deux tonnes ; et 500 kg pour un bateau de 9 mètres.

Par contre, le poids des tôles à lever ne peut guère dépasser 500 kg dans le pire des cas !

Dans ces différents cas, il faudra des « tire-fort » de 5.000 kg, 2.000 kg et 500 ou 1.000 kg. Comme ce sont des outils frustes qu'on trouve d'occasion, mieux vaut calculer avec 50 % de marge. Par exemple, un « tire-fort » de 5.000 kg pour lever 3.000 kg, etc.

Deux portiques de levage et retournement peuvent aussi servir de base à la construction d'un abri en polyétylène. Un portique de levage des tôles et de la quille devra être conçu pour glisser d'avant en arrière, soit sur des planches, ou mieux, sur des fers en H, I ou U en guise de rails.

Comptez sur des fers de 120 à 160. *(Photo D 6. Croquis D 16-D17).*

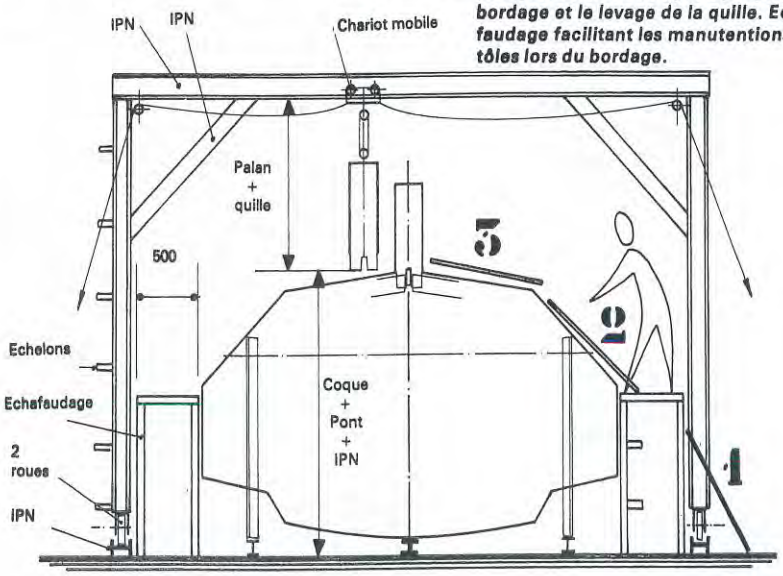
8

DES VIREURS

Utiles ou pas, les roues permettent de tourner et retourner un bateau ?

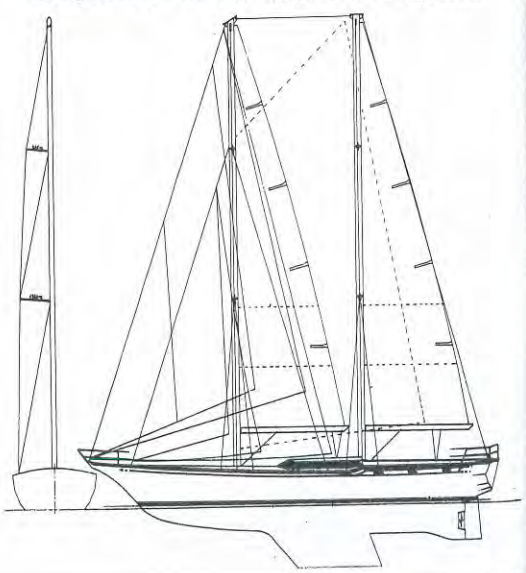
Dans un chantier professionnel produisant un nombre d'unités supérieur à 5 par an, ces roues qui permettent de basculer la coque pour souder à plat et effectuer le retournement précédant le pontage, sont évidemment efficaces, à défaut d'un pont roulant.

Dans un chantier artisanal toujours à concurrence de 4 ou 5 bateaux par an, ces



Croquis D 16 : *Petit portique pour le bordage et le levage de la quille. Echafaudage facilitant les manutentions de tôles lors du bordage.*

Croquis D 17 : *Trirème 55. Architecte Charpentier*



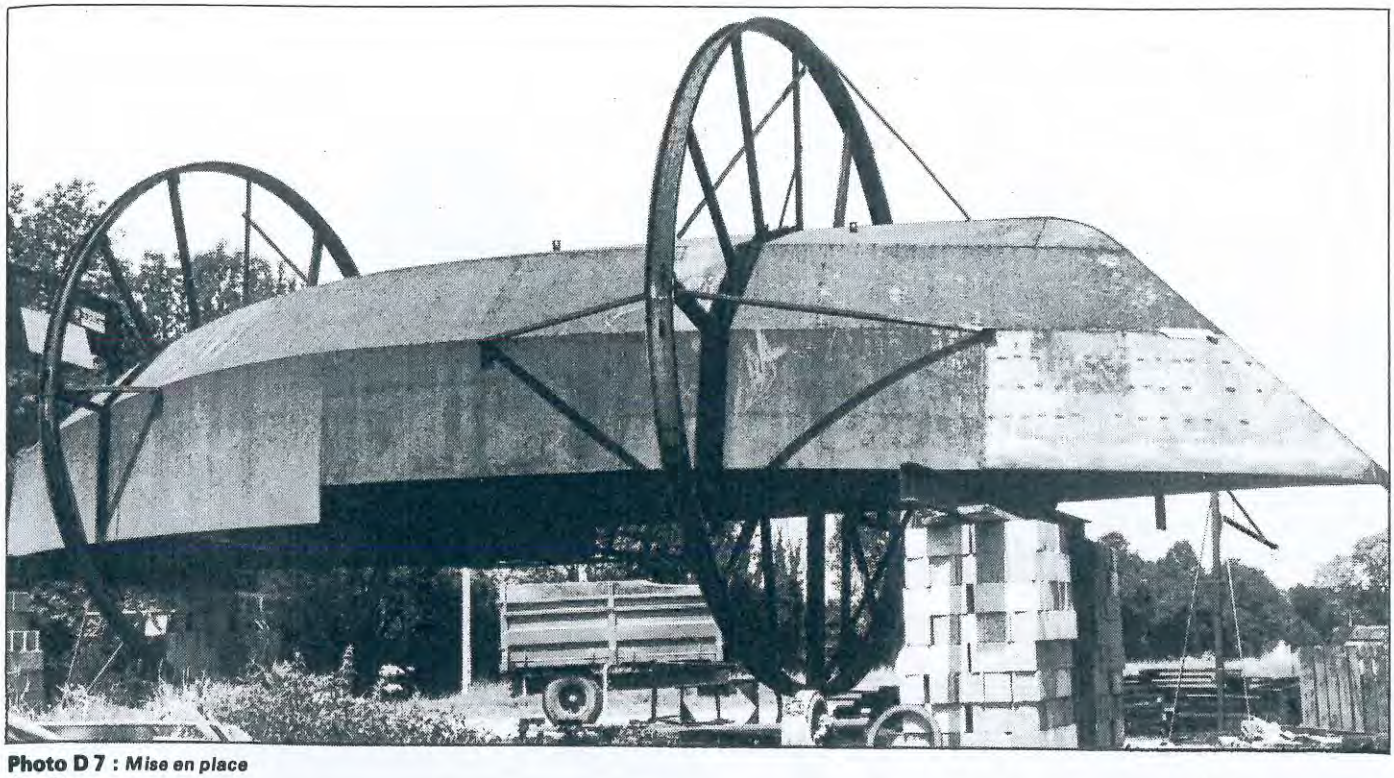


Photo D 7 : *Mise en place des vireurs.*

roues peuvent faire gagner des heures de travail, libèrent de la contrainte de mettre en place un matériel de retournement à une date précise, permettent de lever le bateau, de gruter la quille et les tôles. Elles sont un gain de temps et améliorent les qualités de la soudure. C'est surtout cet avantage qui semble décisif.

Pour l'amateur qui ne fait qu'un bateau, ces roues rendraient les mêmes services et laisseraient espérer des soudures plus belles et de bonne qualité. Mais amortir le coût et le temps passé sur une seulé unité n'est pas gagné d'avance. Cela reste une question d'initiative personnelle. Un amateur sur un terrain communautaire peut s'entendre avec d'autres personnes pour fabriquer et utiliser un jeu de roues en commun.

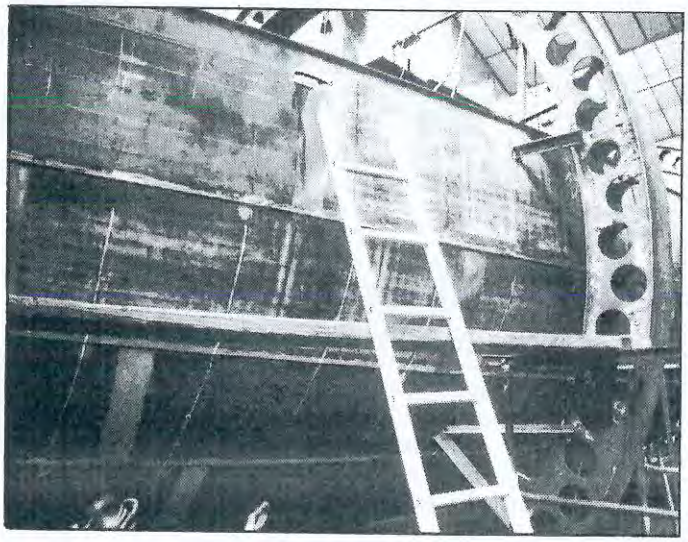
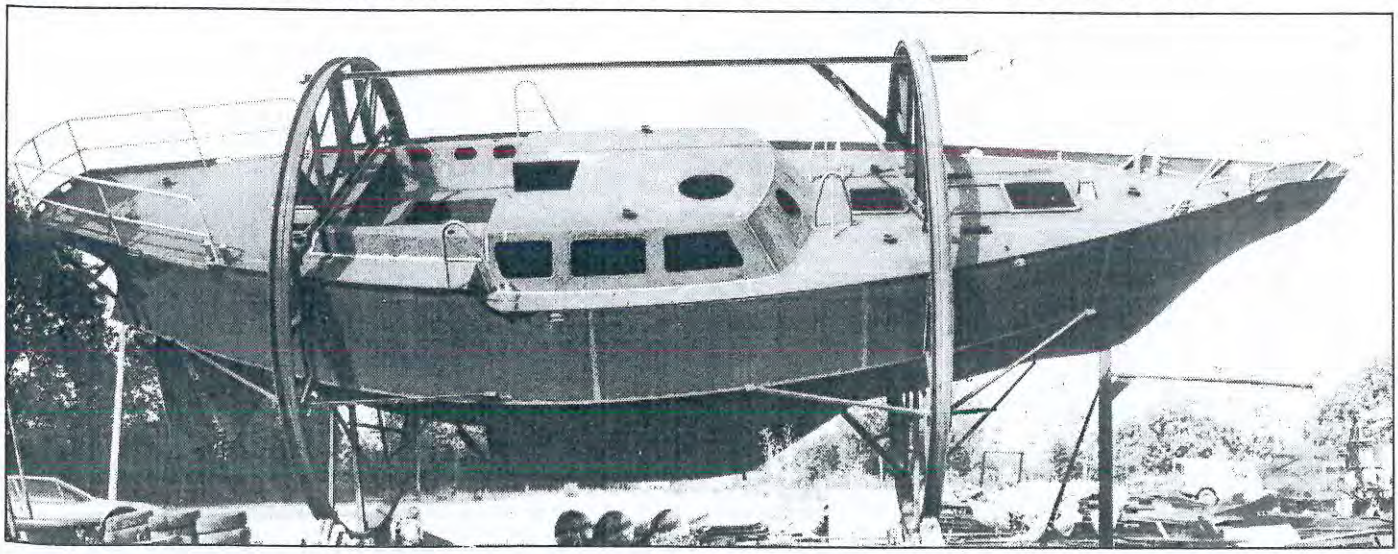


Photo D 9 : *Détail d'un vireur et d'un bordé à clins au chantier Méta.*

Photo D 8 : *La construction artisanale permet des adaptations personnelles comme l'étrave et l'arrière de ce voilier au chantier Cavois.*



Ces roues seront fabriquées en profilés ou en plats soudés. Elles auront un diamètre suffisant pour virer le bateau et sa quille. Pour un dériveur à fond plat, elles sont déjà plus intéressantes car, plus petites, elles permettront de retourner le bateau pour la mise en place du puits. Elles reposeront sur des roulettes et seront munies d'un blocage efficace. Les roulettes seront fixées sur un châssis solide ancré au sol, et ne risquant ni de bouger, ni de s'enfoncer. On peut reprendre ce châssis sur le marbre de construction, qu'il soit à IPN central, ou plus élaboré pour un artisan.

Sauf pour l'amateur solitaire fabriquant un quillard de grande taille (plus de 11 mètres), moi, je suis plutôt pour. Surtout à cause de l'amélioration de la qualité des soudures pour un soudeur de peu de métier.

Un chantier professionnel ayant un pont roulant et travaillant sur gabarit n'aura évidemment pas besoin de telles roues. Meta en est équipé depuis fort longtemps. C'est un des premiers chantiers navals français qu'on a pu voir ainsi équipé. *(Photos D 7 à D 10. Croquis D 18 et D 19).*

9

LE TRACE EN VRAIE GRANDEUR

Je vous l'ai déjà dit plus haut, un architecte qui commercialise des plans vous doit les cotes de construction et pas seulement les cotes de traçage.

La différence est simple. Je vous la rappelle en deux mots.

Pour dessiner un bateau, on dispose de diverses vues en élévation, en plan, transversale, diagonale. On trace le bateau sur

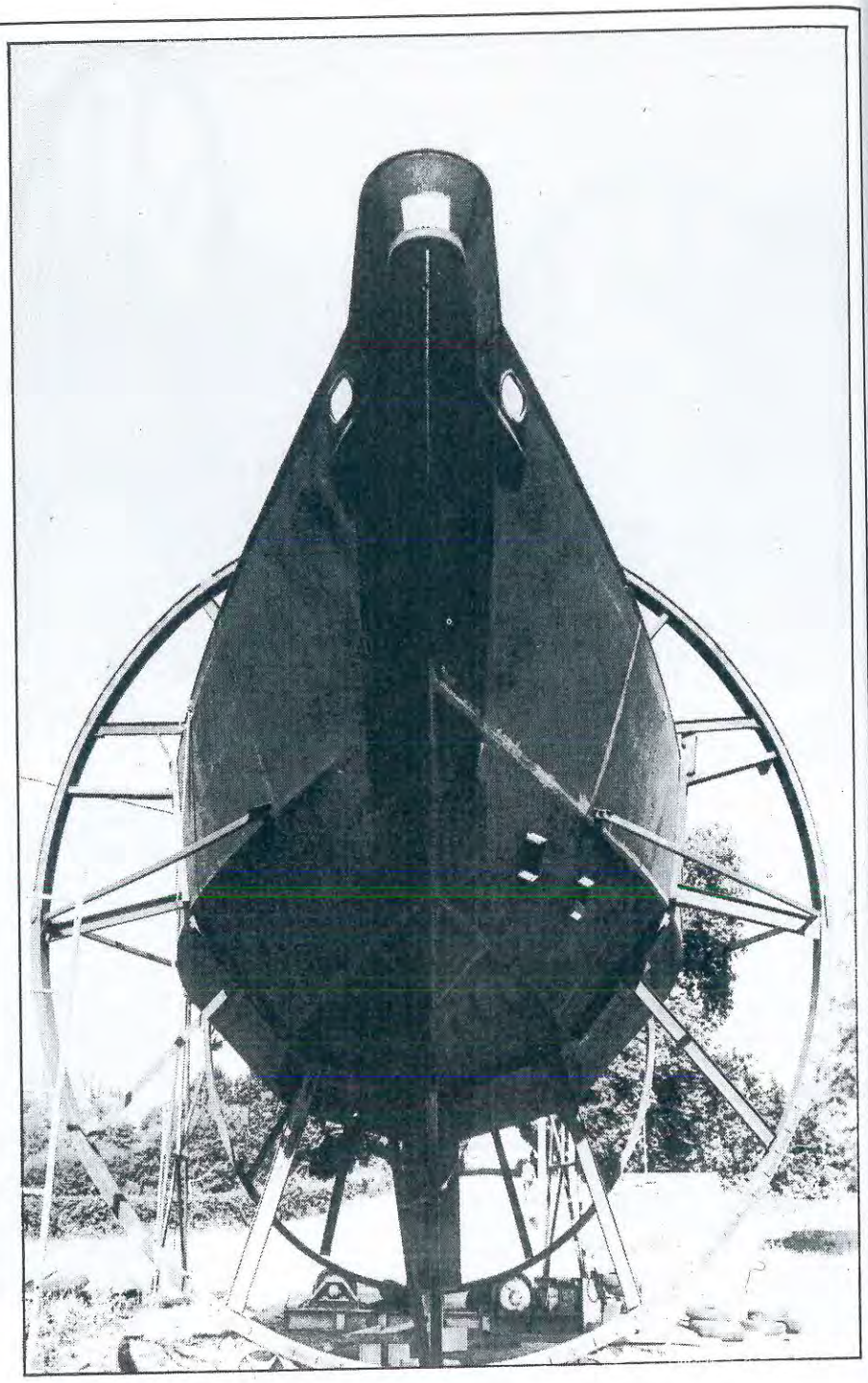
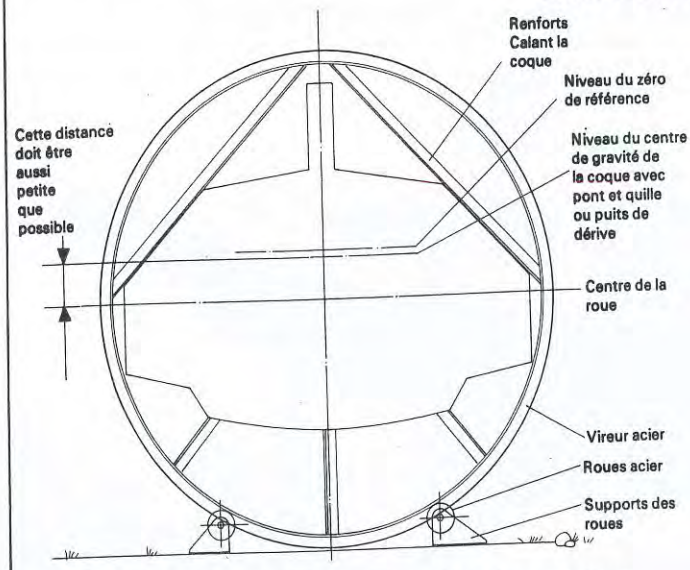
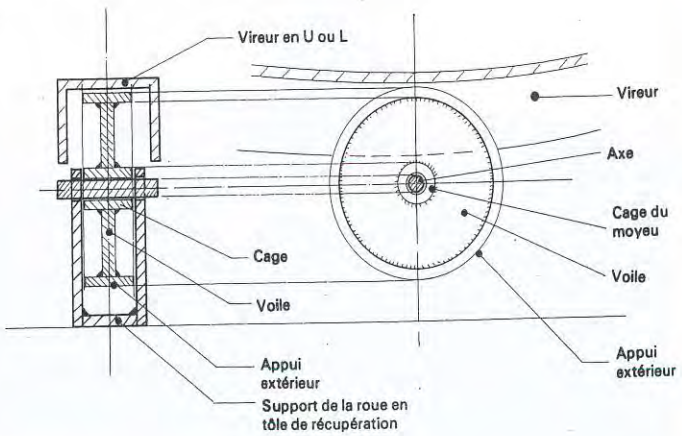


Photo D 10 : *Détail des vireurs.*



Croquis D 18 : *Vue générale d'un vireur. Il en faut deux par bateau.*



Croquis D 19 : *Roue de vireur, en acier, de fabrication artisanale, détail.*

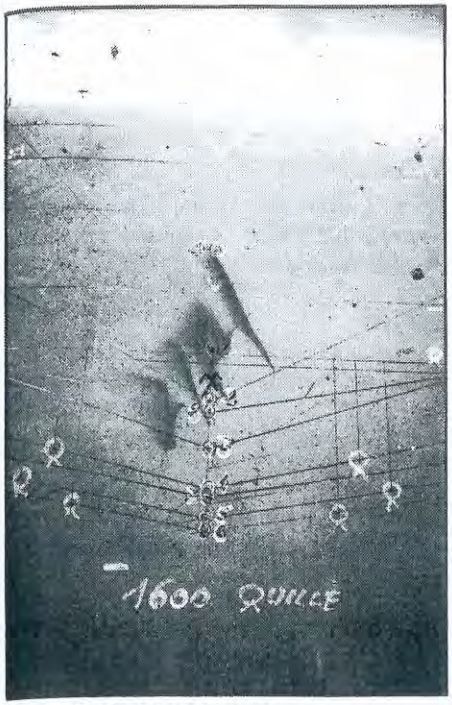


Photo D 11 : ***Détail de traçage.***

une sorte de grille. Mais les couples de construction peuvent parfois être placés en-dehors de ces sections de dessin. L'architecte pourrait vous donner les cotes de dessin et vous dire de retracer le bateau en vraie grandeur, puis de déduire les cotes de construction.

Non !

L'architecte, dont c'est le métier, doit vous donner les cotes des sections de construction. Libre à lui d'utiliser n'importe quel moyen moderne pour les obtenir. Pour ma part, je loue pour les dessins les plus fouillés les services d'un ordinateur relié à une table à tracer. C'est assez coûteux, mais rapide. Et sauf erreur de retranscription, cela donne des cotes très sérieuses et exactes.

Le travail de l'artisan ou de l'amateur consistera donc à tracer en vraie grandeur les profils des sections de construction. Ce que nous appellerons les transversales, étant sous-entendu « *de construction* ».

Sur la table à tracer décrite plus haut, il faut procéder selon la chronologie suivante, valable pour un bateau **à double bouchain.**

● **1 - Tracer le zéro de référence, horizontale de référence, parfois baptisée, selon les architectes :** zéro de référence, flottaison (Fl), flottaison lège ou en charge (FLC) ou en anglais : water line (WL). Pour ma part, je trouve que son rôle de zéro de référence convient bien.

● 2 - Tracer l'axe vertical (VV') perpendiculaire au zéro. A tracer au compas pour être bien certain que l'angle fait bien ses 90°.

La suite varie selon la façon dont le pont a été dessiné. Voici la méthode que j'ai mise au point en 1975, et qui est reprise souvent maintenant, tant elle simplifie et le dessin et les constructions. C'est la méthode du pont dit cylindrique, à ligne de bouge droite et horizontale.

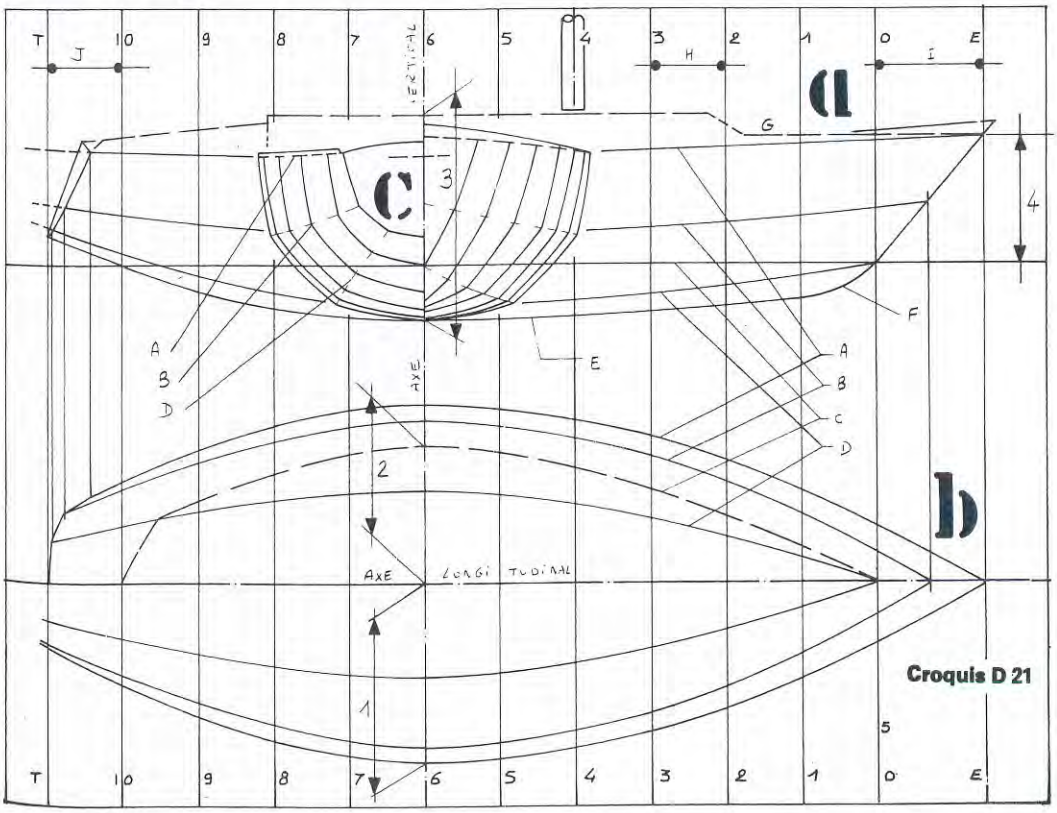
● 3 - Mesurer les hauteurs du sommet du bouge par rapport au zéro de référence.

● 4 - Mesurer la hauteur du sommet du bouge, du ou des roof(s).

● 5 - Aller à l'autre bout du tracé (sinon du local !), chercher le centre de l'arc de cercle desdits bouges. Normalement, c'est le même rayon pour le pont et les roofs ou un château-arrière. Le rayon restant le même, les centres sont donc à égale distance des sommets de bouge. Tracer les arcs de cercle avec une pointe au bout d'un cordeau ou d'une corde à piano peu extensible. On peut utiliser un décamètre en ruban d'acier, encore moins extensible ! On peut aussi tracer la courbe des roofs dans un espace plus grand et dégager et découper un gabarit dans un contre-plaqué. On reporte alors ce tracé en suivant le gabarit. Puisque le pont est cylindrique, tous les barrots ont le même rayon de cintrage. On peut donc, à la commande des tôles et des profilés, faire livrer les barres dans lesquelles seront faits les barrots chez un serrurier qui les roulera en série sur une cintreuse à profilés. Moyen rapide, peu coûteux et pas fatigant pour fabriquer les barrots ! Vous pouvez alors tracer la courbe de votre pont en suivant le contour d'un des barrots !

● 6 - On peut déjà reporter les largeurs du livet sur l'arc de cercle du pont.

● 7 - Et on peut tracer le pont tout entier. Je vous souhaite que l'architecte de votre bateau ait conçu des passavants de largeur constante, et un roof dont l'hiloire (les côtés) a une hauteur et une pente constantes. Ainsi, vous reportez le long du tracé du pont la largeur du passavant à chaque couple. Puis, vous remontez verticalement au niveau du roof et reportez toujours vers l'axe et le long du tracé du bouge du roof la pente de l'hiloire. Voilà. C'est fini pour le pont et le roof !



Croquis D 21

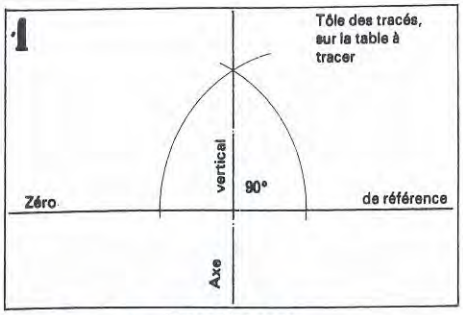
Légende

Formes d'un voilier à double bouchain

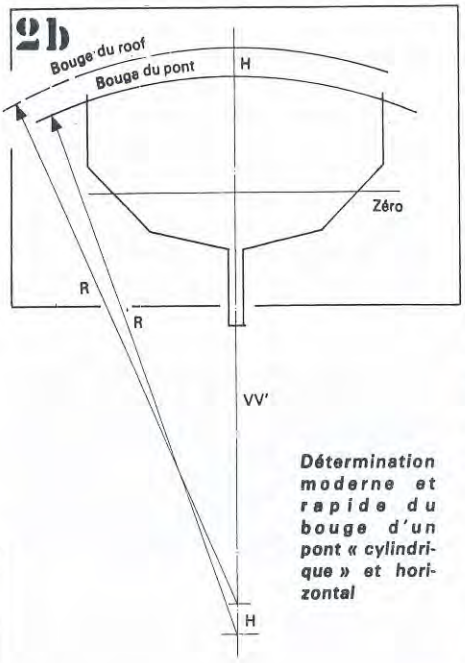
Exemple : 10,20 m
A : Livet
B : Brisure supérieure
C : Zéro de référence
D : Brisure inférieure
E : Râblure, allonge de quille
F : Brion
G : Bouge de pont
H : Intercouple constant
I : Elancement avant
J : Elancement arrière

1 : Bau maximum (au pont, ici)
2 : Bau à la flottaison
3 : Creux maximum
4 : Franc-bord avant

a : Elévation, mesures verticales, hauteurs et profondeurs.
b : Vue en plan, mesures horizontales, largeurs.
c : Transversales. On ne doit relever ni valeur d'angle, ni longueur de segment sur cette vue dont peu savent qu'elle n'est guère laissée là qu'à titre de visualisation. On peut s'en servir pour les mesures des aménagements.

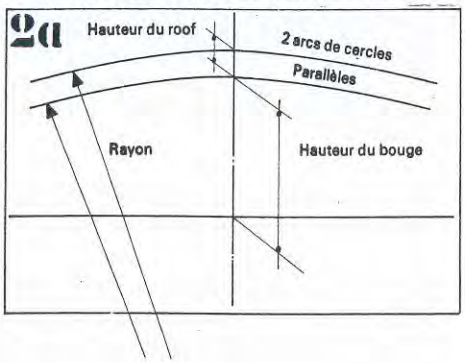


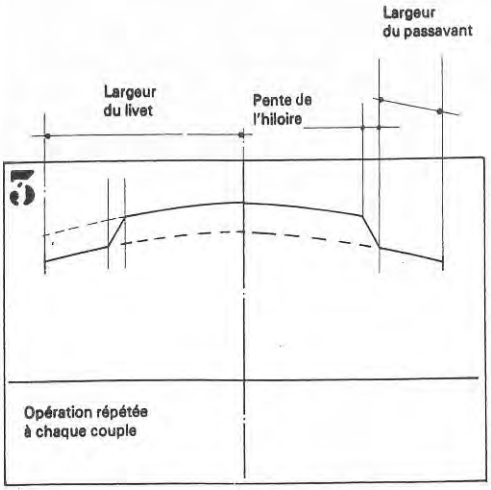
Croquis D 22 *Tracer les axes*



Détermination moderne et rapide du bouge d'un pont « cylindrique » et horizontal

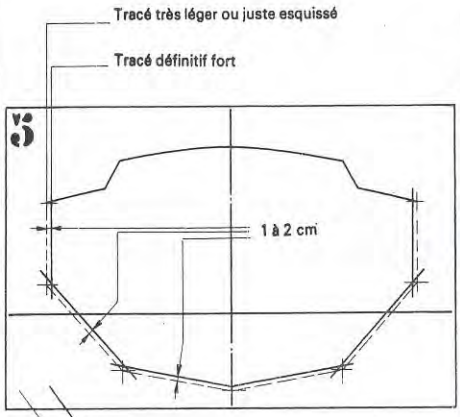
Tracer les courbes du pont et du roof

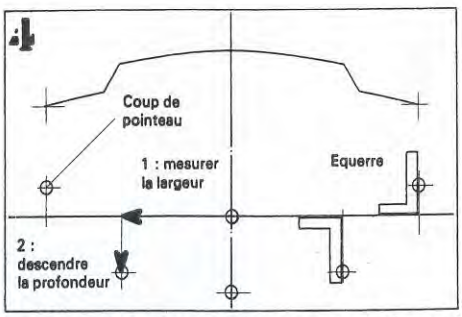




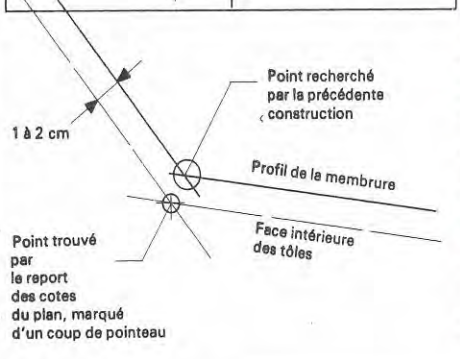
Profil du passavant et des hiloires de roof

Détermination du profil des membrures





— ***Mesure des points de brisure : angles intérieur tôle.***
— ***Opération faite pour chaque couple.***



● 8 - Alors, si vous voulez, vous pouvez tracer le cockpit d'après les cotes indiquées. Hauteur du fond par rapport au zéro ; largeur du fond ; hauteur du siège ; largeur du siège ; pente de l'écoulement de l'eau (capital !) ; hauteur et pente du dossier.

● 9 - Le pont est terminé de tracé. Cherchons maintenant les cotes de profondeur du bateau dans l'axe et reportons ces cotes sur la verticale VV' qui sert d'axe vertical.

● 10

A Cotons les points des brisures. Vous remarquez qu'il s'agit ici du tracé d'un bateau à double bouchain, type de coque le plus répandu à l'heure actuelle pour la construction amateur et artisanale. Pour un bateau à triple bouchain, il y a un point de plus à chaque couple, de chaque côté de l'axe.

Pour un bateau à fond plat (dériveur ou quillard), on reporte la cote de fond dans l'axe VV' et on mène une horizontale par ce point.

Pour mener des perpendiculaires aux axes (zéro et VV'), vous pouvez construire une équerre en contre-plaqué. Vous avez construit au compas l'angle droit de VV' sur le zéro ; servez-vous de ce tracé pour l'angle droit de l'équerre qui devra mesurer 1 mètre de grand côté et 60 cm de petit côté.

B Commencez par mesurer les largeurs des points de brisure le long du zéro ; brisure supérieure et brisure inférieure.

C Posez l'équerre angle droit le long du point ainsi mesuré. Remontez le long de l'équerre d'une distance indiquée sur le plan de formes comme hauteur de la brisure supérieure. Et en dessous du zéro, vous procédez de même pour la profondeur de la brisure inférieure. Marquez ces points d'une croix. Portez un coup de pointeau pour rendre le point définitif. Précision = ± demi-millimètre. Ce n'est pas difficile !

Nota : Maintenant, à peu près tout le monde travaille (amateurs, artisans) avec des structures dites sur lisses. Les architectes prennent l'habitude de donner des cotes intérieur bordé. Le profil des membrures est à 1 cm environ (selon les bateaux), à l'intérieur de la face intérieure du bordé. Il faut donc tracer leur contour non pas en joignant les points que vous venez de trouver et qui sont la face intérieure des tôles, mais 1 cm en dedans ! Vous pouvez améliorer la lisibilité du tracé en entourant les points au feutre jaune ou orange et en les désignant du numéro du couple (— 1, 0, 1, 2, etc.).

● 11 - A quatre pattes, au milieu de votre tracé, vous considérez chaque tronçon de membrure, bien perpendiculairement à lui. En général, la distance entre deux points d'un même couple, entre brisure supérieure et brisure inférieure, par exemple, varie de 0,90 m à 1,20 m. A partir de chaque point repéré tout à l'heure et marqué d'un coup de pointeau, vous mesurez 1 cm vers vous.

Vous tracez alors le contour extérieur du tronçon de membrure. Procédez ainsi pour tous les tronçons d'un même couple. Ces lignes se recoupent et donnent avec précision les angles des membrures. Notez qu'on ne trace que des demi-couples, car vous construisez des demi-membrures, l'une étant retournée et reliée à l'autre par le barrot en haut et la cornière varanguant les fonds et portant le plancher en bas.

Vous avez ainsi tracé le contour extérieur des membrures à 1 cm en dedans de la face intérieure des tôles dont les cotes sont données dans le plan des formes. Par contre, le contour des barrots est en général celui indiqué sur les plans, car les tôles de pont reposent directement sur les barrots et les lisses de pont.

● 12 - Vous pouvez repérer la hauteur des niveaux des cornières porteuses des planchers et dont le rôle majeur est de trianguler les fonds. Ces niveaux sont indiqués sur les plans de formes ou de structure et sur les dessins des couples. En général, leur niveau est assez libre et on monte ou descend ces cornières selon les besoins des hauteurs sous barrots de chacun.

Maintenant, on va pouvoir commencer la construction des membrures et barrots.

Le tracé prend en général de 6 à 24 heures de travail. La plupart du temps, une journée de travail suffit !

Voici d'autres indications pour tracer un bateau en formes :

● Les cotes du plan seront là encore intérieur bordé.

● On commence par tracer l'axe vertical VV' sur une tôle.

● Puis on trace le zéro, au compas, angle de 90° !...

● Au-dessus et au-dessous, on trace des horizontales espacées conformément au plan des formes.

● Sur ces horizontales, on mesure les largeurs indiquées sur le plan des formes.

● On joint ces points par une latte de bois d'environ 1,5 cm de côté. On « optimise » le tracé en joignant le plus grand nombre possible de points « *filant* » parfaitement. Un ou deux points pouvant « *tomber* » quelques millimètres en dedans ou en dehors.

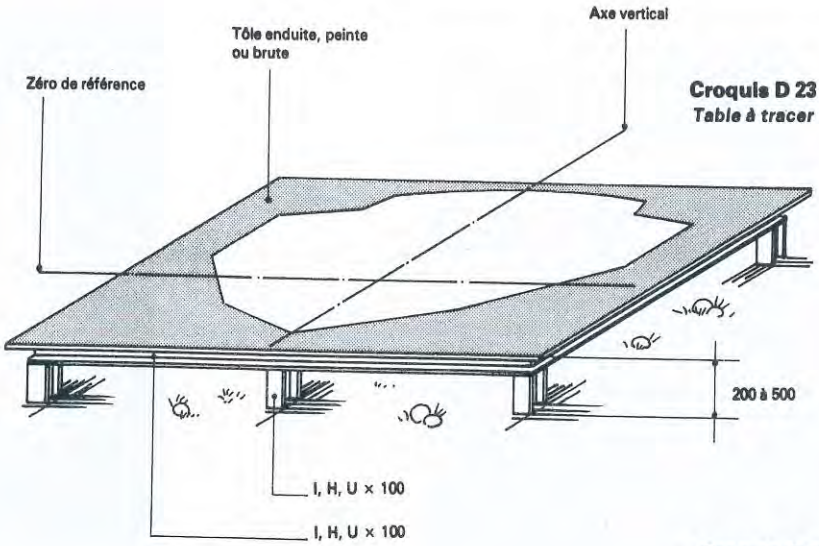
On procède comme tout à l'heure pour le pont. Ensuite, il faut se conformer aux plans pour le contour des membrures, selon qu'elles touchent ou non le bordé.

Si le tracé du pont n'est pas du type cylindrique et horizontal, voici d'autres indications :

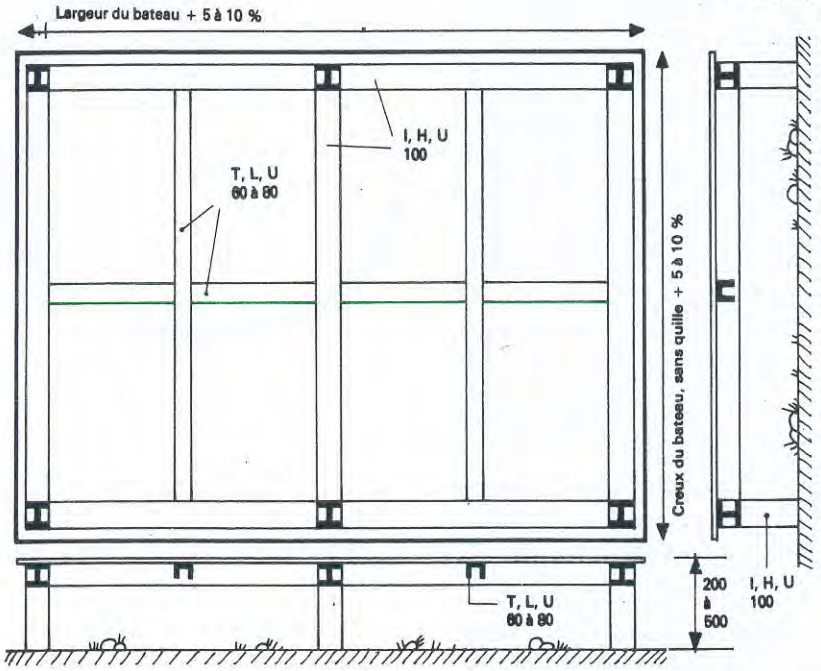
● Pour chaque couple de construction, il faudra mesurer la hauteur et la largeur de chaque.

Il faudra aussi mesurer la hauteur du bouge de chaque barrot sur l'axe VV'.

Pour chaque couple, cela déterminera ainsi trois points. Les points de largeur du livet sur chaque bord, et la hauteur du bouge. Par ces trois points, on fait passer un tracé de quart de nonante selon le procédé maintenant bien connu, et qu'un dessin suffit à décrire.



Croquis D 23
Table à tracer



Croquis D 24
Table à tracer

Tracer le pont nécessite comme on le voit, lorsqu'il n'est pas cylindrique et horizontal, un grand nombre de mesures et de tracés. Il va jusqu'à doubler presque le temps du traçage, et prolonge de beaucoup le temps de construction des barrots. Ce qui se ressent évidemment sur le prix de revient d'un bateau ! *(Photo D 11. Croquis D 21 à D 24).*

Nous rappelons aux associations, écoles d'enseignement, entreprises, etc, que la reproduction même partielle des textes et documents des Hors Série de Loisirs Nautiques est strictement interdite pour tous pays, photocopies comprises. Loi du 11 mars 1957, alinéas 2 et 3, article 41, voir également alinéa 1, article 40.

10

CONSTRUCTION DES COUPLES

A) LES « DEMI-MEMBRURES »

Les couples vont être construits directement sur la table à tracer, c'est la raison pour laquelle cette dernière doit être en acier et non pas en bois.

Les couples sont faits de tronçons d'acier assemblés.

On note deux demi-membrures non jointives en bas, raccordées au barrot en haut, une cornière renforçant la base de la membrure, éventuellement d'autres détails.

Un couple de bateau en forme est assemblé en deux demi-membrures chacune d'une pièce cintrée par martelage, et

d'un barrot en une pièce ou plusieurs selon qu'il se trouve en dehors du roof ou qu'il serve de support au roof. Les demi-membrures des bateaux à bouchains sont faites de segments débités dans des barres de fers plats.

On peut commencer par le tronçon du haut de bordé. On positionne la barre de 6 m et on reporte la courbe du pont pour couper son extrémité supérieure.

Pour couper automatiquement l'extrémité inférieure, il suffit de superposer à la barre de 6 m un bout de carton de la même largeur que les fers de membrure, de 50 à 60 cm de long, positionné selon le départ du tronçon suivant. Ce « patron » a l'avantage de vous donner instantanément et sans aucune mesure ni relevé d'angle, l'angle de coupe du premier tronçon de membrure. Pendant que vous y êtes, vous en découpez un second dans une seconde barre, pour le second côté de la membrure.

Vous retournez la première barre, dont vous avez détaché le premier tronçon. Par le jeu des angles complémentaires, vous avez ainsi le bon angle qui s'ajuste au bas du premier tronçon. Vous procédez de même pour le bas du second tronçon avec le « patron » placé selon le tracé du troisième. On retourne la barre et on coupe le troisième tronçon.

Au pied du couple va venir s'encastrer le fer de quille. Il faut donc couper les tronçons du bas des membrures de façon à encastrer ce fer. Si ce fer mesure 10 mm d'épaisseur, chaque tronçon sera coupé à 6 mm de l'axe vertical VV'.

Pour assembler ces tronçons, il faut les placer sur le tracé. On les pointe entre eux et les soude en passes inversées pour combattre les déformations. Si vous notez que des déformations se sont produites dans l'angulation des morceaux de membrure, les plus adroits pourront les récupérer en chauffant le métal. Les autres frapperont les couples avec un maillet. Il

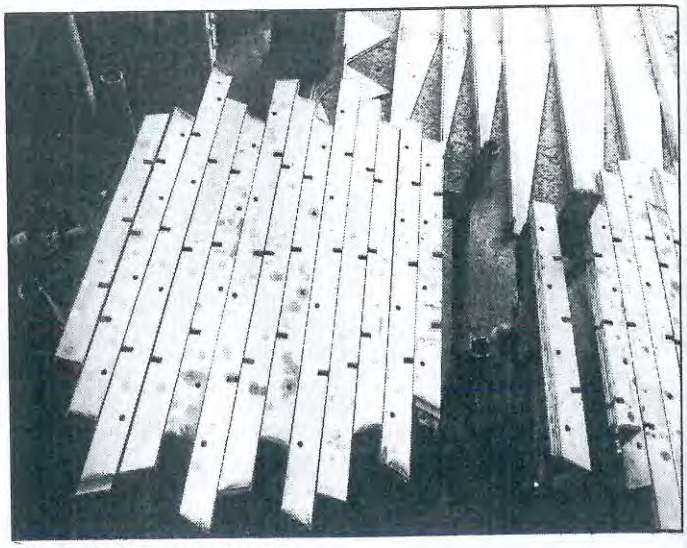
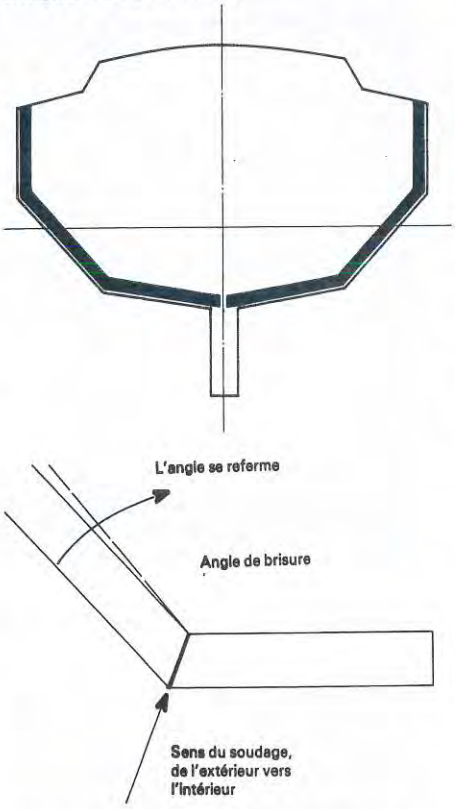


Photo D 12 : *Fers plats et tôles pliées débités à l'avance au chantier Brument.*

Croquis D 25 : *Membrure.*



Croquis D 28 : *Déformation en fonction du sens de soudage.*

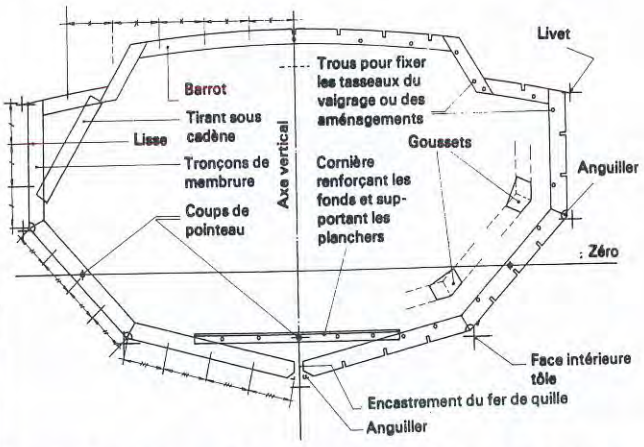
faut procéder par approches successives. Un poste à souder de type Safarc 160, réglable entre 35 et 160 ampères, à deux gammes d'intensité, convient parfaitement. Lorsqu'on soude deux tronçons de l'extérieur du couple vers l'intérieur, on tend à refermer l'angle fait par ces deux tronçons.

Pour éviter les déformations, on peut pointer sur la table à tracer, ainsi transformée en table de mécano-soudure, des petits bouts de cornière (5 cm × 30 × 30 × 3) qui vont brider les morceaux de plats et éviter les modifications d'angles lors du soudage.

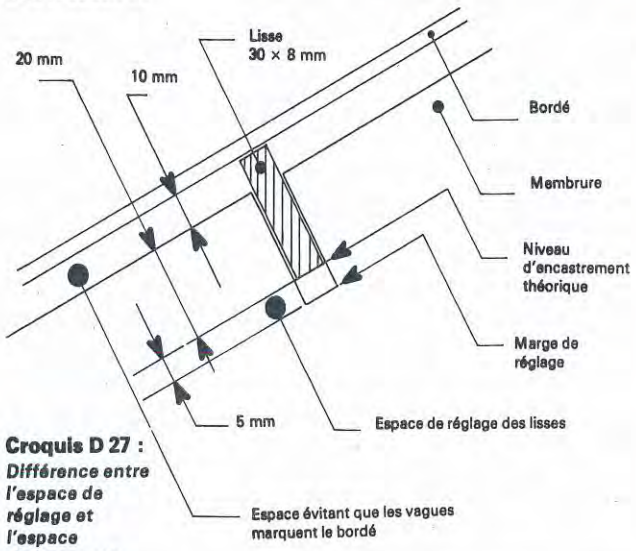
- Pour rouvrir l'angle, on le frappe du côté intérieur (angle fermé).
- Pour refermer l'angle, on le frappe par l'extérieur (angle ouvert).

B) LES BARROTS

Lorsque le pont est cylindrique, les barrots ont un cintre constant et tous sont identiques. On peut alors rouler les barres de 6 m et les assembler. Attention, en départ et en fin de barre, on note des « parties » droites sur 30 à 50 cm. **On**

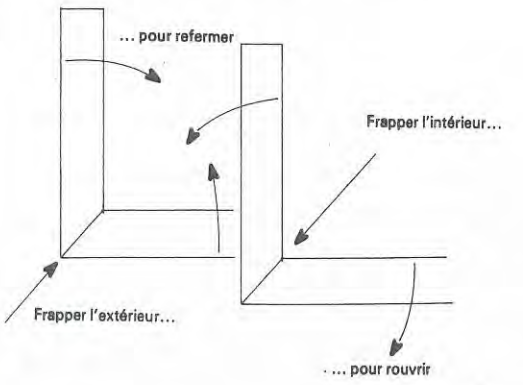


Croquis D 26 : *Détails à prévoir sur un couple avant de le décaper, le « prépeindre » et de le dresser sur le marbre.*

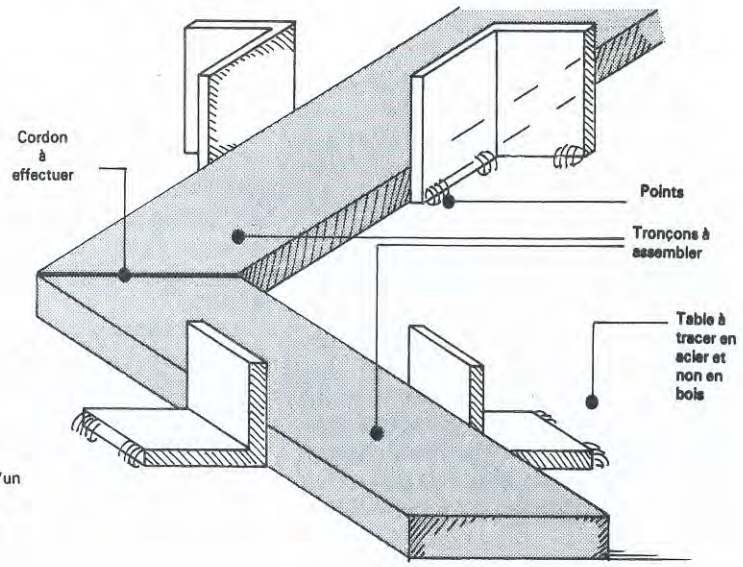


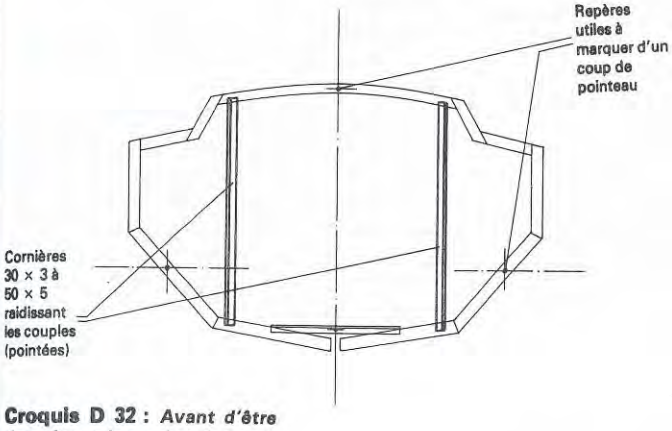
Croquis D 27 : *Différence entre l'espace de réglage et l'espace de marquage*

Croquis D 29 : *Sens de la frappe au marteau pour rouvrir ou refermer un angle déformé par le soudage.*

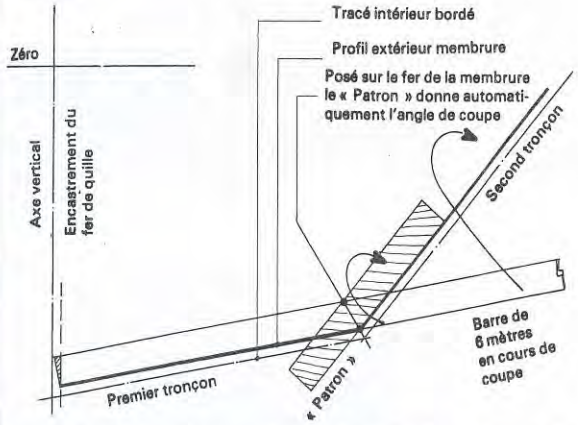


Croquis D 30 : *Fabrication d'un gabarit de mécano soudure avec des morceaux de cornières pointés sur la table à tracer en acier.*

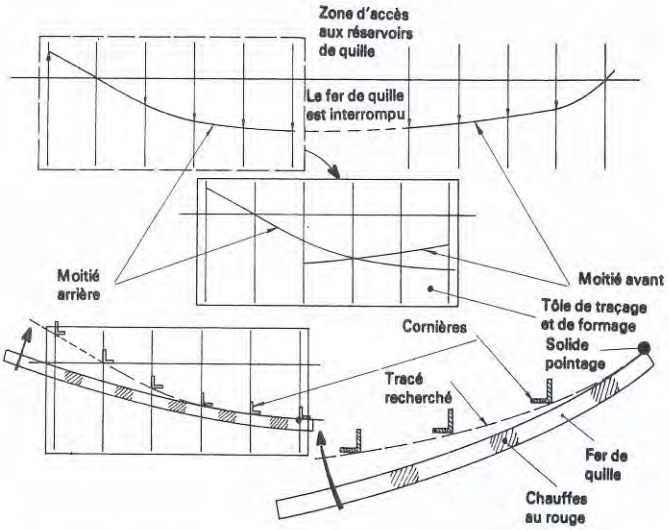




Croquis D 32 : *Avant d'être dressés sur le marbre, les couples sont renforcés par des cornières.*



Croquis D 31 : *Un « patron » en carton de la même largeur que les membrures facilite la découpe des tronçons des couples, sans rien mesurer.*



Croquis D 33 : *Le fer de quille, traçage et formage.*

peut les amener à un cintre proche des parties roulées en les martelant au marteau à garnir entre deux fers rigides : IPN, par exemple.

On les débite ensuite et les assemble selon le tracé. On donne toujours la plus grande longueur au segment placé verticalement. Ainsi les segments horizontaux, dont les fibres sont plus sollicitées, seront plus courts. Les remarques sur les déformations d'angles sont valables ici aussi. On les évite par un gabarit « mécano » fait de petits morceaux de cornières pointés sur la table à tracer.

Lorsque le cintre des barrots n'est pas un arc de cercle, il faut marteler les fers entre deux rails ou IPN au marteau à garnir comme dit plus haut.

On peut aussi se fabriquer une cintreuse à l'aide d'un cric automobile. Les fers plats traversent les montants verticaux de la cintreuse dans des fentes bien ajustées à leur épaisseur pour éviter qu'ils se vrillent.

On rattrape un fer vrillé en le prenant entre les deux branches d'une clé en forme de F dont le jambage est aussi long que possible.

On peut brider les tronçons de membrure et l'angle membrure-barrot par des fers plats ou cornières pointés et formant triangle.

Les différentes parties du couple sont assemblées sur la table à tracer.

Pour rigidifier le pied des membrures et maintenir l'espace où viendra s'encastrer le fer de quille, on place au niveau choisi, une cornière, en général de 40 × 4 ou de 50 × 5.

Il convient de parfaitement repérer l'axe vertical sur le milieu du barrot et de la cornière, et le niveau du zéro sur les deux parties de membrure.

C) LES DETAILS DES COUPLES

L'acier nécessite de la part du constructeur qu'il prévoie la suite des opérations. Ainsi aura-t-il dû tout découper, tout percer, tout souder, tout meuler avant de sabler et peindre ! **Sinon, certes, rien ne devient impossible, mais tout se complique et les chances d'avoir une**

surface tout à fait exempte de traces de rouille diminuent.

Chaque couple doit :

- être totalement assemblé, membrure, barrot, cornière sous les planchers.
- porter des repères faits au pointeau : axe vertical et zéro de référence.
- être entaillé de toutes les encoches qui recevront les lisses. Par contre, si les lisses encastrées dans les barrots ne laissent pas un minimum de 2 à 3 cm d'acier non entaillé, mieux vaut s'abstenir et laisser ces découpes pour après le retournement.
- être percé de tous les trous nécessaires au vissage des cloisons et tasseaux de fixation du vaigrage. Trois trous par tronçon : trous de 8 mm pour vis de 6 mm. Ces trous doivent être faits le plus près possible du bord des fers de façon que les tasseaux puissent être de la plus petite section possible, et si possible 20 × 20.

L'axe du trou ne doit pas être à plus de 8 à 10 mm du bord du fer.

Les couples qui recevront une ou plusieurs cadènes doivent être complétés de « *tirants* », triangulant l'angle pont-coque. Ces tirants en fer plat ont le même échantillonnage que les barrots. Ils sont percés pour le vissage de l'habillage en bois.

On peut aussi mettre en place les épontilles dans les couples qui se trouvent sous les mâts.

En règle générale, il faut faire à plat au sol tout ce qui sera plus difficile à réaliser en position lorsque le bateau aura été retourné. *(Photo D 12. Croquis D 25 à D 32).*

11

LE FER DE QUILLE

C'est la colonne vertébrale du bateau. De l'étrave vers le tableau arrière, on trouve une pièce d'inox qui servira de ferrure d'étrave et cadène d'étai ; une partie galbée ou droite selon le type d'étrave (fer d'étrave) ; une partie fortement cintrée ou découpée dans de la tôle épaisse (fer de Brion) ; une première longue partie courbe allant du brion vers le milieu du bateau ; une autre longue partie depuis le milieu du bateau vers le tableau arrière ; un fer qui remonte le long du tableau et une terminaison en inox pour prendre un pataras simple.

On commence par tracer le profil du fer de quille.

Inutile de tracer toute la vue longitudinale.

Sur une portion de tracé longitudinal suffisante pour faire apparaître chacune des parties les plus longues, on trace en les superposant les zones décrites plus haut.

On cintre le fer de quille selon ce tracé avant de le débiter. Un fer se cintre plus facilement en grande longueur qu'en petits segments.

Utiliser le marteau à garnir, la masse ou le chalumeau pour le former. La masse donne de bons résultats pour des fers de moins de 80 × 100. Au-dessus, il convient de courber le fer de quille en le chauffant au chalumeau. On ne s'occupe pas du tube d'étambot de l'arbre d'hélice qui sera déporté sur le côté et mis en place après construction de la coque et retournement.

On forme bien le fer de quille sur son propre tracé ; on pointe des cales à chaque point de son tracé. On pointe l'extrémité du fer, à un point fixe. On tire à l'autre bout en opérant des chauffes entre les cales marquant son tracé. Une trentaine d'heures suffit largement au formage des éléments du fer de quille d'un bateau pas trop tarabiscoté.

Lorsque le fer de quille est interrompu au niveau de la quille pour faciliter l'accès au réservoir, on peut soit le fabriquer d'une pièce et le recouper, soit ajouter une portion de cornière reliant les tronçons du fer de quille. *(Photo D 13. Croquis D 33 à D 36).*

12

LES LISSES ET LEUR REGLAGE

LES LISSES

Une structure sur lisses n'est pas tout à fait ce qui peut se faire de plus léger ni de plus rigide. Pour un bateau de course, on préfère une structure transversale ou arachnéenne, type Bergstrom.

Mais, pour un bateau de croisière, c'est la méthode la plus rapide et qui, par ses possibilités de réglage, donne les meilleurs résultats au meilleur prix. Les structures sur lisses ont à peu près totalement remplacé les structures sur membrures, sauf pour certains bateaux en formes, de grande taille.

Les fers qui deviendront les lisses sont livrés en barres de 6 mètres à 6,50 mètres. Il faut donc assembler deux barres ou plus pour faire une lisse.

Les lisses seront encastrées dans des entailles faites dans les membrures et les barrots. Il ne sera pas utile de les préformer. Elles vont être un moyen capital de réglage des formes. Il faut travailler le plus vite possible, car, vous allez le voir, vous disposerez d'après notre méthode, de 5 mm d'erreur. A peu près impossible à atteindre ! Alors il ne faut pas se gêner...

LE REGLAGE

Vous allez le voir tout à l'heure, on se base sur la courbure des tôles pour régler les lisses qui, fers plats, ne donnent pas une image assez précise des formes pour servir de critère définitif.

Prenons un exemple pour expliquer le réglage des lisses.

Imaginons *L'Ile Disko* ou un autre bateau de 12 mètres.

Les membrures sont des plats de 80 × 8, espacés de 95 cm.

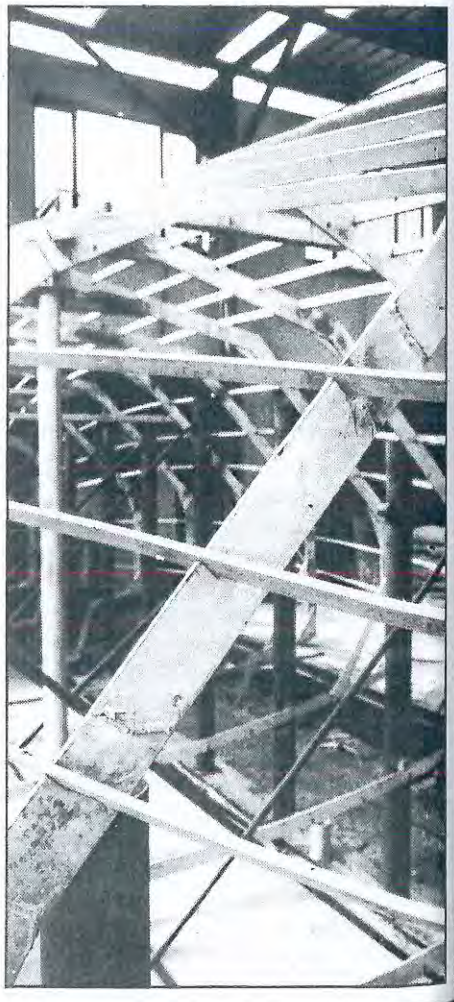
Les lisses sont des plats de 30 × 8.

On laisse un espace de 10 mm théoriques entre la face interne des tôles et le bord des membrures. Les lisses sont donc en principe encastrées de 20 mm dans les membrures.

Cependant, on creuse à la scie à main ou à la tronçonneuse à disque, des entailles de 25 mm !

A 20 mm du bord de la membrure, on pointe une cale. Par exemple un carré de 40 × 40 × 3. Ainsi, le niveau théorique d'encastrement est délimité, mais de plus vous bénéficiez d'un droit à l'erreur de 5 mm. C'est une astuce que j'ai mise au point et exposée dans « *Loisirs Nautiques* » vers 1979.

Photo D 14 : ***Structure sur lisses. Encastrement des lisses dans les membrures.***



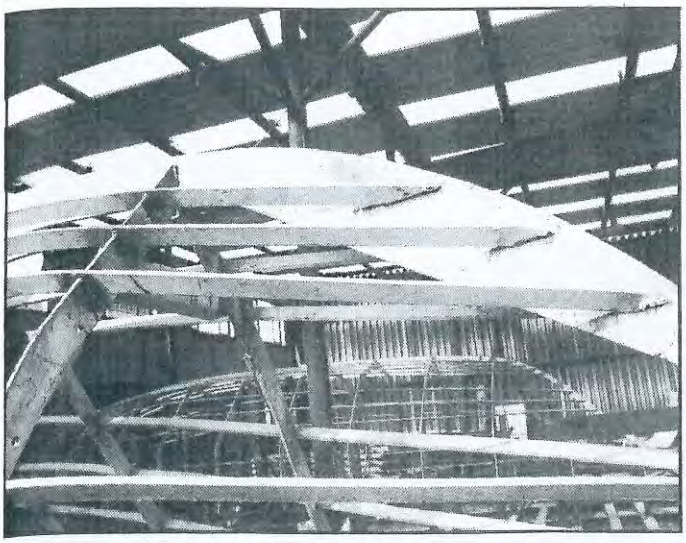
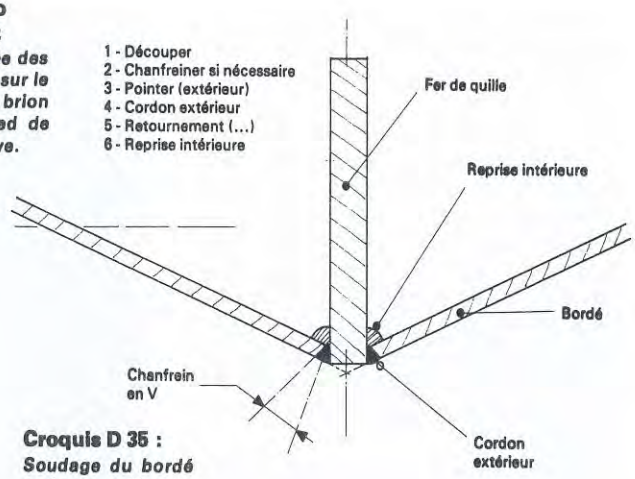
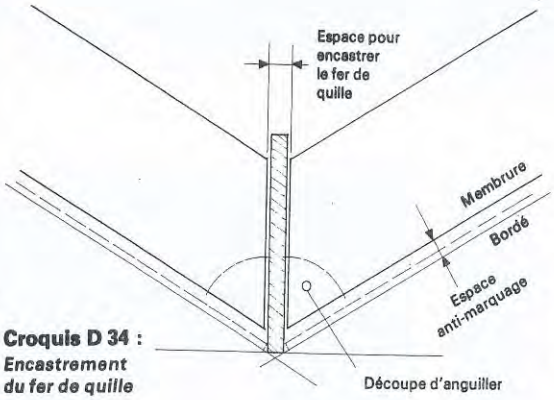


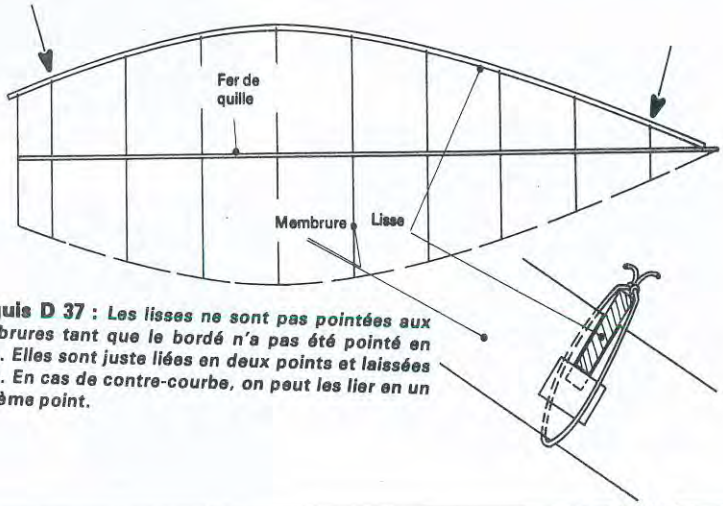
Photo D 13 : ***Arrivée des lisses sur le fer de brion au pied de l'étrave.***



Croquis D 35 : ***Soudage du bordé au fer de quille***

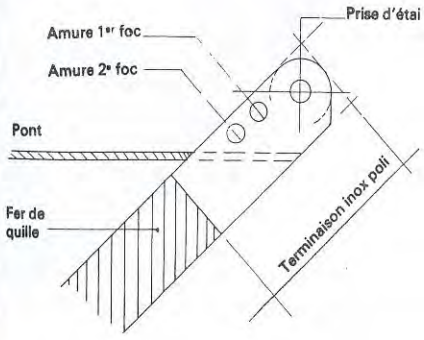


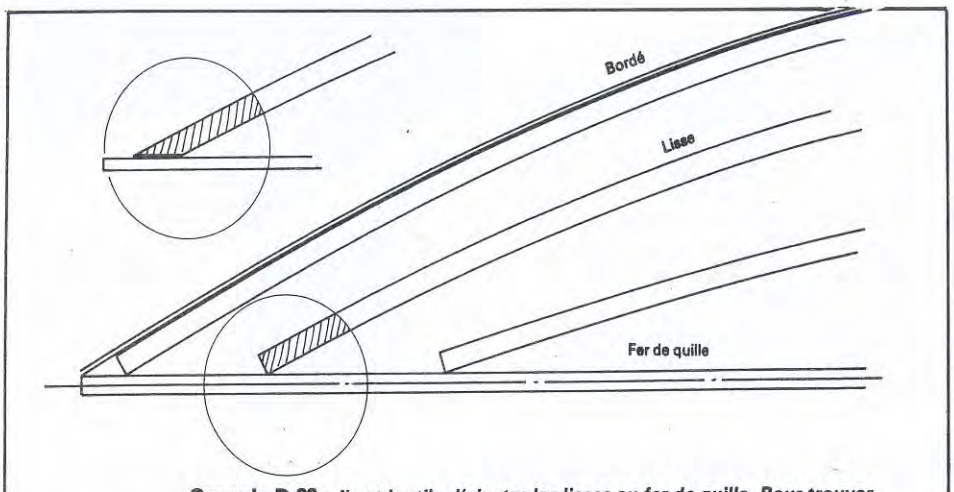
Croquis D 34 : ***Encastrement du fer de quille***



Croquis D 37 : ***Les lisses ne sont pas pointées aux membrures tant que le bordé n'a pas été pointé en place. Elles sont juste liées en deux points et laissées libres. En cas de contre-courbe, on peut les lier en un troisième point.***

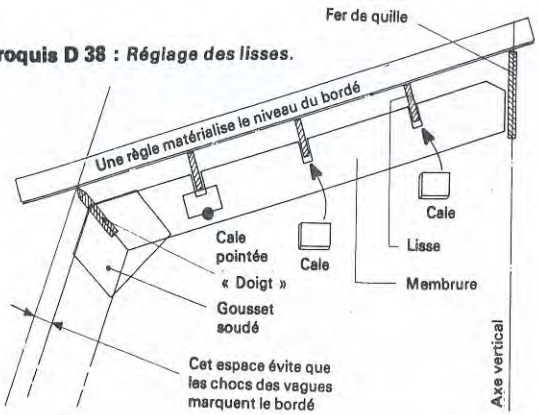
Croquis D 36 : ***Une ferrure d'étrave simple.***

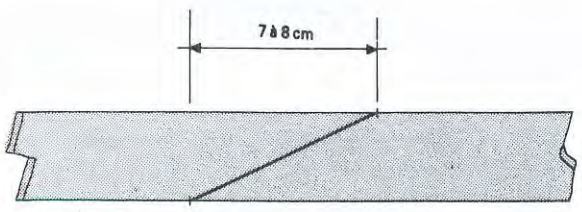




Croquis D 39 : ***Il est inutile d'ajuster les lisses au fer de quille. Pour trouver l'endroit où la lisse touche le fer de quille, on matérialise le bordé par une règle qu'on fait courir transversalement sur les lisses et le fer de quille.***

Croquis D 38 : ***Réglage des lisses.***





Croquis D 40 : ***Pour raccorder deux longueurs de 6.000 pour faire une lisse, on les coupe en biseau. On les soude au sol ; on rectifie au marteau ; on meule soigneusement.***

Imaginez qu'un couple ne soit pas tout à fait bien positionné. Il est décalé vers la droite, par exemple, de 2 mm. Le côté droit du couple sort de 2 mm, tandis que le côté gauche est en « *rentré* » de 2 mm.

Lors de la mise en place des lisses, de la vérification à l'aide d'une latte et de la présentation des tôles, vous verrez que les lisses du côté droit font une saillie à ce couple-là, mais ne touchent pas leurs cales des couples situés en arrière et en avant. Par contre, du côté gauche, les lisses touchent bien les cales des couples en avant et en arrière mais ne vont pas au fond des entailles du couple mal placé.

Que faire ?

Dans le passé, il fallait enlever les lisses, démonter le couple, le refaire ou le remettre en place.

Maintenant, on ne s'occupe pas du côté gauche. Du côté droit, on enlève les cales. Libres, les lisses rentrent selon leur courbe naturelle. On laisse le tout ainsi jusqu'à la mise en place des tôles.

C'est tout !

Le réglage est donc cet espace de 5 mm offert en plus de l'encastrement théorique et normal des lisses. L'espace laissé entre les tôles et les membrures est là pour éviter leur marquage par des chocs des vagues, contre la structure.

Qui dit réglage, dit bien que les lisses sont laissées libres de rentrer et sortir de leurs entailles et de glisser vers l'avant ou vers l'arrière. Les lisses ne demandent à peu près jamais à être préformées pour « *venir* » dans leurs encoches.

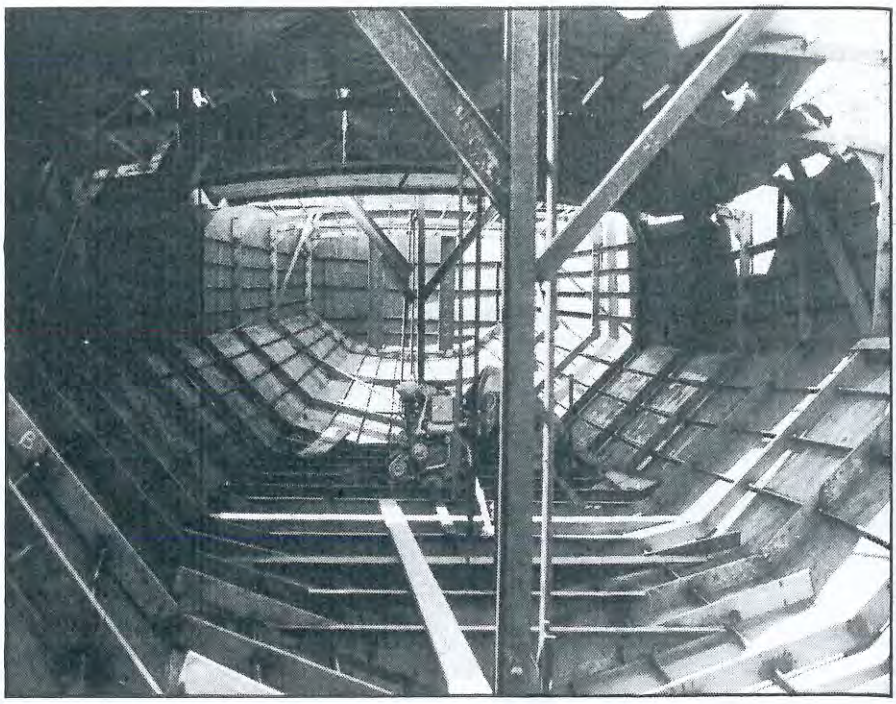


Photo D 15 : *Ensemble de structure sur lisses. (Photo Lardy).*

DES ANGUILLERS

Pendant la construction du bateau, avant que l'isolation du pont ne soit faite avec de la mousse, ainsi que dans les fonds, de l'eau pourra couler ou stagner dans l'angle des lisses et du bordé. Aussi, à leur point le plus bas, découpe-t-on des demi-lunes, côté tôle, pour permettre à l'eau de s'écouler vers les fonds.

En règle générale, il faut aussi couper les angles des membrures et des goussets, aux brisures contre le fer de quille pour faciliter le soudage des reprises intérieu-

Photo D 16 : *Gousset de brisure.*

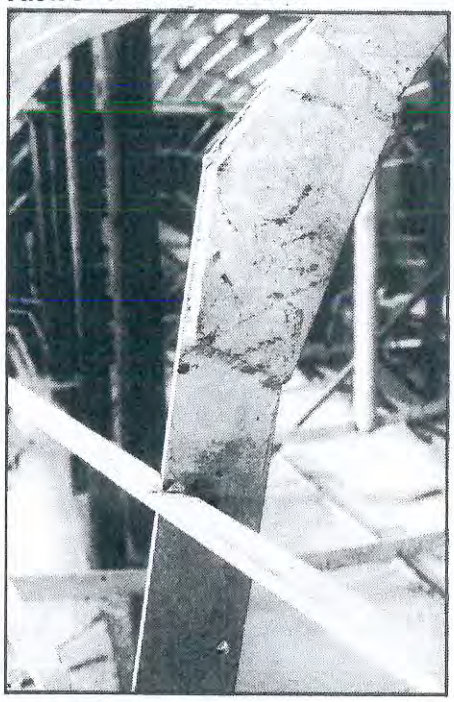
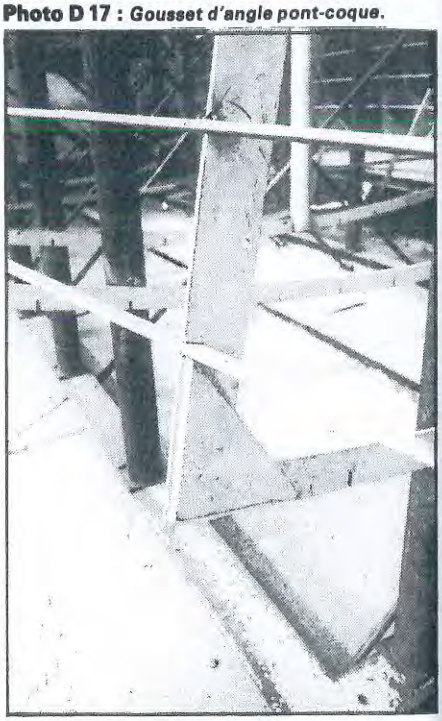
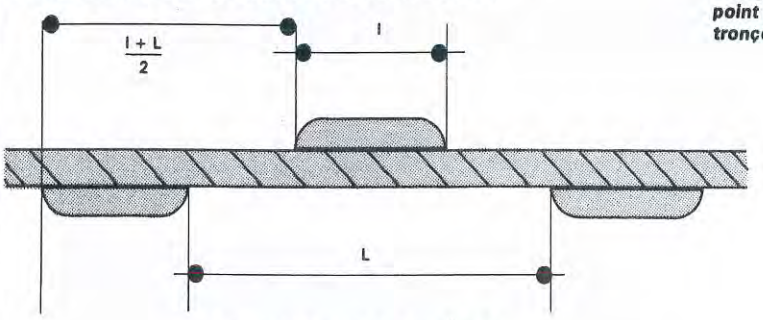


Photo D 17 : *Gousset d'angle pont-coque.*



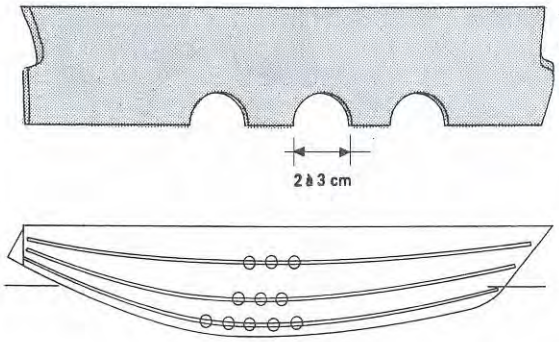
Croquis D 42 : *Soudage alterné selon normes Véritas.*



Membrure ou varangue sur bordé $\frac{L}{I}$	= 2,5
Barrot sur pont	= 2,5
Raidisseurs sur cloison	= 2,5

Ceci est une norme très sévère, pour les grands bateaux. En plaisance, on convient d'accepter un écartement des traits bien plus grand tout en restant raisonnable. Le chenillage doit toutefois être réalisé en quinconce !

Croquis D 41 : *On pratique des encoches dans les lisses, côté bordé, à leur point le plus bas, pour faciliter la circulation de l'eau. Utiliser un disque à tronçonner.*



res et permettre l'écoulement libre de l'eau. *(Photos D 14 et D 15. Croquis D 37 à D 42).*

13

LES GOUSSETS

Il n'était pas faux de dire dans le passé qu'un rôle des goussets était de guider les brisures.

Mais on se trompait en imaginant qu'ils avaient un rôle de tenue des tôles. Ils avaient plutôt l'inconvénient d'être des points durs sources de déformations.

Placés dans l'angle des tronçons de membrures, les goussets ont comme rôle d'assurer l'indéformabilité de ces angles. C'est tout !

Ne cherchez pas ce que vous pourriez mettre dans l'angle de la brisure pour la renforcer. Elle se renforce d'elle-même par l'angle des tôles. Pour la tracer, d'autres méthodes sont préférables. Vous le verrez.

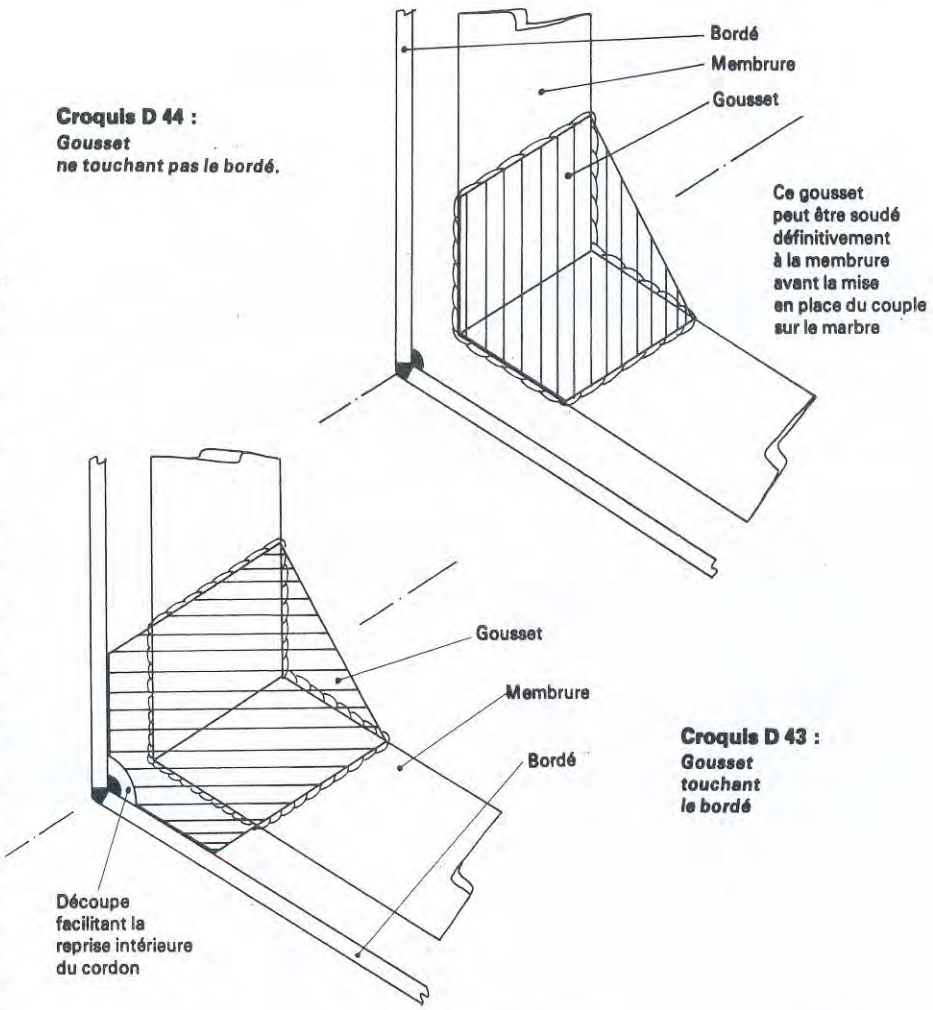
Les goussets sont découpés dans de la tôle épaisse. Par exemple, 60 % de l'épaisseur des membrures.

Maintenant, les goussets ne touchent plus le bordé. Ils sont soudés définitivement sur les couples, au bord de ceux-ci. Avant de souder un gousset sur un couple, en cordons continus, mieux vaut brosser le couple et le gousset sur leurs faces en contact pour éviter d'inclure trop d'oxydes dans ces zones qui ne se corroderont plus une fois soudées, car il n'y aura plus d'oxygène, mais enfin, c'est plus sain et reposant pour l'esprit !

L'angle de la membrure et du gousset sera meulé ou tronçonné pour laisser un anguiller et faciliter les reprises intérieures des cordons de bouchains.

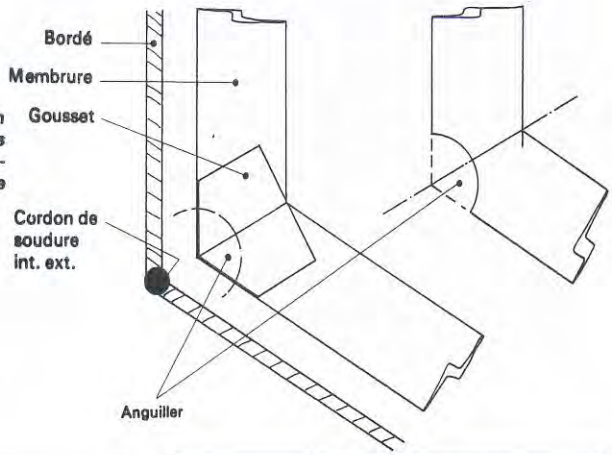
Lorsque sur d'anciens bateaux il peut être prévu que les goussets touchent le bordé — vous pouvez demander à l'inspecteur de la navigation de votre quartier maritime qu'il accepte que vous les posiez selon la méthode moderne.

S'il vous faut les placer contre le bordé, vous pouvez prévoir de souder définitivement les goussets des couples en arrière du niveau du mât, mais de pointer seulement les goussets des couples en avant du mât. Les goussets aideront à repérer les brisures sur les tôles de bordé. Mais au moment du soudage des tôles, il vaudra mieux enlever les goussets pour éviter les déformations. Le retrait des tôles les appuierait contre ces goussets et provoquerait des cassures dans la ligne des bouchains. On les enlève. On soude les tôles. On les replace après. Toujours couper leur angle pour former anguiller et ménager le passage de la soudure. Pas de souci à se faire quant à la corrosion de ces zones. Les peintures au zinc s'infiltreront partout et il n'y aura pas de corrosion si le bateau est convenablement isolé.



Croquis D 44 : ***Gousset ne touchant pas le bordé.***

Croquis D 43 : ***Gousset touchant le bordé***



Croquis D 45 : ***La découpe d'un anguiller aux angles des membrures facilite l'écoulement de l'eau mais surtout la reprise intérieure du cordon de soudure.***

Non seulement les goussets ne touchent plus le bordé, mais surtout ils doivent être des tôles découpées et soudées en continu contre le côté des membrures. En aucun cas, ils ne doivent être des petits morceaux de plats « *remplissant* » près des brisures l'espace entre membrures et tôles. Un tel choix interdirait toute erreur de positionnement des couples, car il transmettrait une telle erreur, fut-elle minime, au tracé des brisures, qu'il rendrait à peu près impossible de bien faire filer !

De telle erreurs étaient le plus souvent à l'origine des défauts de courbure des brisures dans les années 70 à 75. *(Photos D 16 et D 17. Croquis D 43 à D 45).*

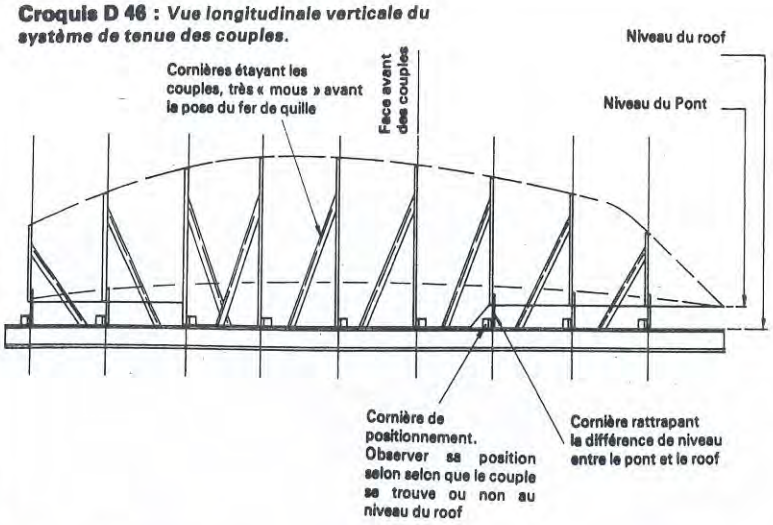
14

LE MONTAGE DE LA STRUCTURE SUR LE MARBRE

Ainsi que vous l'avez lu, les couples sont fixés au marbre soit par des boulons, soit par pointage, soit simplement par encastrement dans des supports. Ceci pour une construction professionnelle.

Je vous détaille ci-après la façon de dresser la structure sur un marbre à IPN central ;

Croquis D 46 : *Vue longitudinale verticale du système de tenue des couples.*



ESPACEMENT

Par l'intermédiaire de leurs cornières, ou directement sur leur barrot, les couples sont posés sur l'IPN central. Le dessus de cet IPN peut-être parfaitement plan et horizontal, ou rectifié par un jeu de petites cales d'épaisseur.

On tend sur les surfaces de l'IPN une corde à piano ou un cordeau pour définir l'axe du bateau.

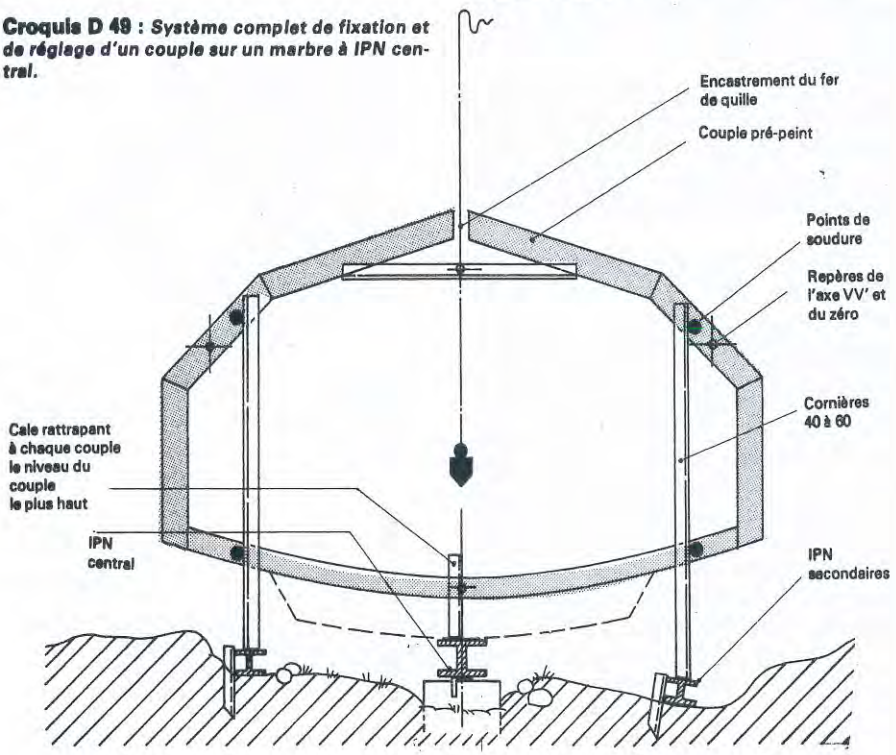
On mesure les différentes longueurs permettant de positionner les couples : élancement avant, distance entre couples (intercouples). On marque chaque point ainsi trouvé d'un coup de pointeau. On désigne chaque point du nom du couple et d'un rond qui aidera à le repérer, au feutre ou avec un tube marqueur à bille.

LES COUPLES

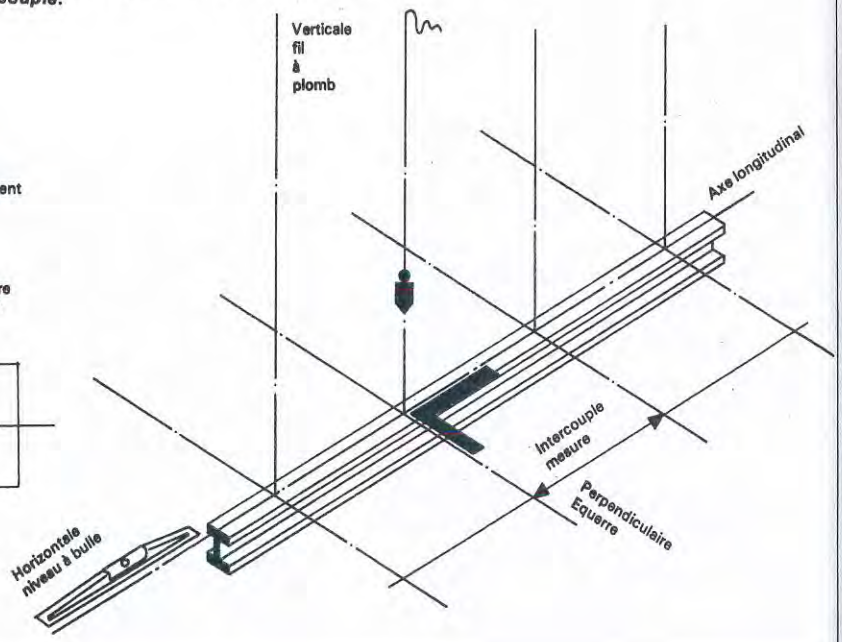
Le bateau est construit à l'envers. Bien rares sont maintenant ceux qui construisent à l'endroit, et leurs temps de travail sont toujours plus importants !

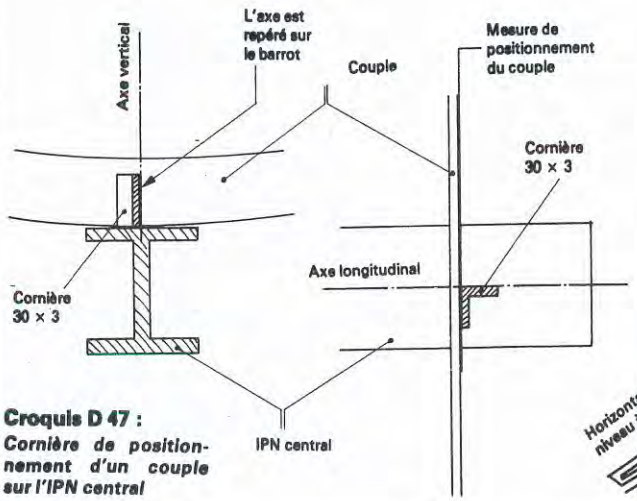
Les couples reposent sur leur barrot. On pose donc directement sur l'IPN les couples dont les barrots sont les plus hauts (au niveau du roof, par exemple). Les autres couples sont posés avec interposition d'une cale d'une longueur égale à la différence de hauteur. Si bien que pour un pont cylindrique, tous les barrots du roof seront en contact direct et on ne trouvera guère qu'une ou deux longueurs de cales pour les autres barrots. Pour un bateau dessiné autrement et dont le roof et le pont ne sont pas horizontaux (cas du *Chatam*, *Rêve d'Antilles*, etc), ce procédé reste tout à fait valable. On se base toujours sur le barrot le plus haut, et chaque autre barrot est muni d'une cale en cornière de la différence de hauteur. Ces cornières, pour être rigides, relient la cornière de plancher au barrot, et ont un échantillonnage de 30 × 3 pour les bateaux de 8 ou 9 mètres ; 40 × 4 jusqu'à 12 mètres ; 40 × 5 ou 50 × 4 au-delà. La longueur des cales se mesure très facilement sur le tracé des transversales.

Croquis D 49 : *Système complet de fixation et de réglage d'un couple sur un marbre à IPN central.*



Croquis D 48 : *Système de positionnement d'un couple.*





Croquis D 47 : *Cornière de positionnement d'un couple sur l'IPN central*

Lorsque tous les milieux des couples ont été repérés sur l'IPN, on peut ôter le cordeau qui ne sert plus à rien.

Pour coter les distances entre couples, on ne considère pas le milieu de l'épaisseur du fer, mais on se base sur la face avant de chaque couple.

Des petits bouts de cornière (30 × 3 par exemple), sont pointés contre chaque point marqué. Le côté de la cornière marquera l'axe. Ce sera plus facile à observer que si l'axe de la cornière marquait l'axe du couple !

POSITIONNEMENT

Avec le procédé de l'IPN central, nul besoin d'installer une visée au niveau de la flottaison. Un simple fil à plomb suffit pour mettre les couples verticalement dans le sens transversal et antéro-postérieur.

Pour les mettre perpendiculairement à l'axe longitudinal du bateau, l'équerre convient parfaitement.

Les couples, que maintenant tout le monde convient de construire en fers plats, manquent de rigidité dans le sens de leur épaisseur. Il faut donc les étayer vers l'avant et vers l'arrière par des cornières de récupération, L ou T d'environ 30 × 3.

MISE EN PLACE DU FER DE QUILLE

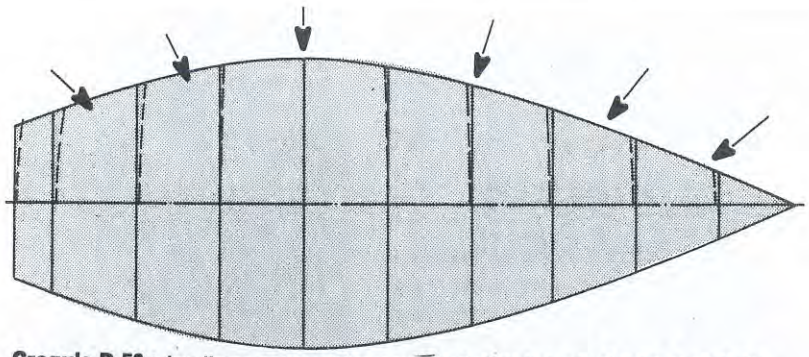
Les couples n'étant guère rigides dans le sens antéro-postérieur, mettre en place les lisses tout de suite n'aboutirait qu'à les déformer. Il faut donc d'abord placer le fer de quille ; il ne faut pas oublier que le fer de quille touche les tôles, tandis que les membrures sont de 1 cm en retrait. Une règle permettra de viser pour un bon positionnement du fer de quille par rapport aux membrures. Une fois positionné, le fer de quille est pointé aux membrures en attendant la confirmation du bon alignement des couples lors de l'encastrement des lisses.

MISE EN PLACE DES LISSES

Les lisses s'encastrent dans leurs encoches sans préformage nécessaire. Il ne faut ni les chauffer, ni les pointer au fur et à mesure qu'on les encastre dans chaque membrure. Il faut seulement les attacher avec un fil de fer au couple le plus en arrière ou dans le creux de la voûte arrière si celle-ci présente une contre-courbe. Puis on les amène vers l'avant en les encastrant. On les attache de la même façon au couple le plus en avant ou au plus creux si l'étrave présente une contre-courbe.

Les lisses doivent rester libres pour que soit possible le réglage expliqué plus haut. Elles viennent théoriquement en butée sur la cale pointée à leur niveau (théorique) d'encastrement.

Inutile de les terminer en biseau ajusté au fer de quille. Il suffit de les amener en coupe droite contre le fer de quille. Une fois le réglage achevé, elles seront soudées au fer de quille. Les tôles soudées aux unes et à l'autre assureront la solidité.



Croquis D 50 : *Les lisses poussent les couples de l'arrière vers l'avant et ceux de l'avant vers l'arrière. Aussi doit-on étayer les couples et poser le fer de quille avant les lisses.*

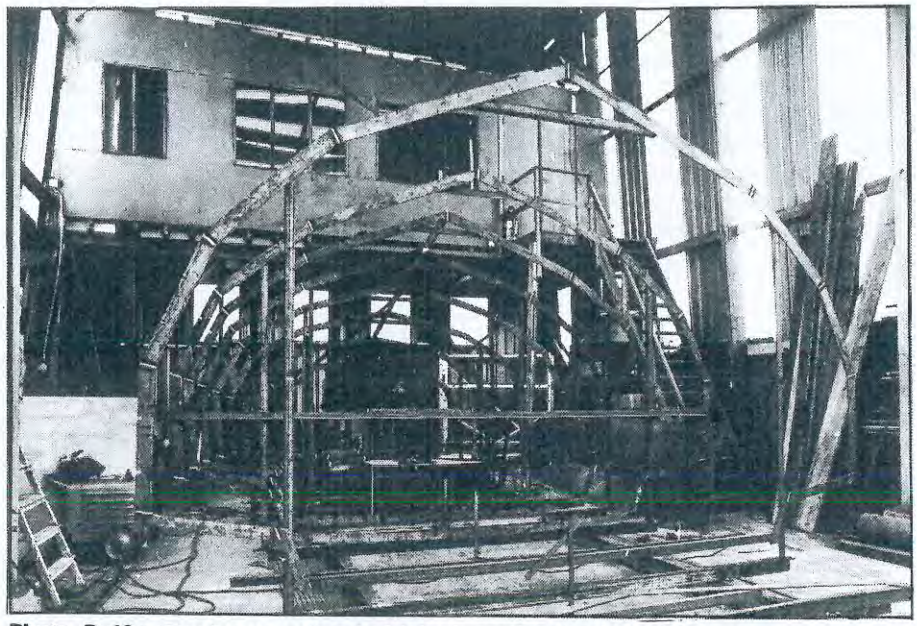


Photo D 19 : *Couples et marbre de fabrication artisanale chez Alizés Marine.*

REGLAGE DES LISSES

En faisant courir une latte droite sur les goussets s'ils touchent les tôles ou un repère marquant l'angle intérieur de la brisure inférieure, les lisses du panneau de fond et le fer de quille, on peut vérifier déjà le bon alignement théorique de ces éléments. C'est ainsi également qu'on prépare et trouve l'endroit du fer de quille où arrivent les lisses, à l'étrave.

On peut procéder ainsi pour le panneau moyen avec les deux points marquant les brisures et les lisses ; et pour le panneau supérieur.

Cependant, il faut savoir que les tôles, lorsqu'elles seront assemblées en place et soudées, « *gonfleront* ». C'est-à-dire que des coupes réalisées dans le bordé le long des couples ne présenteraient pas des droites, mais des courbes. Ces courbes, les tôles les atteignent de façon naturelle. Il ne faut donc pas souder les lisses, car il faudrait ensuite pour les cheniller aux tôles plaquer ces dernières, ce qui ne réaliserait pas de jolies formes, mais des formes maigres, creuses.

Après une brève vérification de l'alignement des éléments déjà mis en place, il ne faut pas s'attarder à les fixer par soudage, ni pointage. Il faut passer au bordage. La seconde partie du réglage sera faite avec ce bordage. *(Photos D 18 et D 19. Croquis D 46 à D 50).*

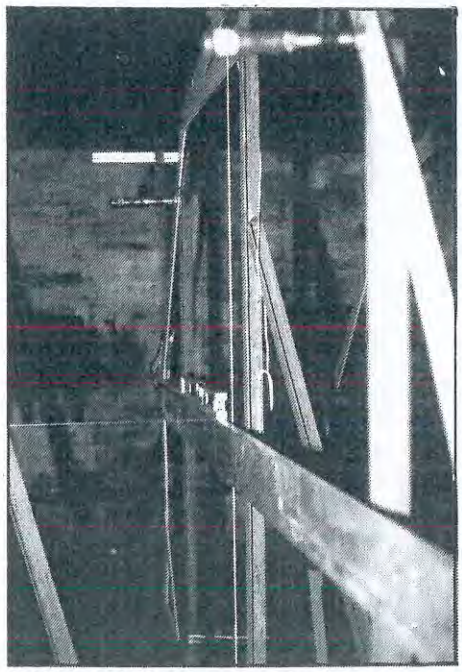


Photo D 18 : *Mise en place d'un couple au fil à plomb et au niveau à bulle.*

15

LE BORDAGE DE LA COQUE

Border une coque en formes est le travail du dessinateur-projeteur, combiné au travail du chaudronnier et à celui du soudeur.

Rares sont les amateurs et les artisans capables de mener à bien le bordage d'un bateau en acier en formes.

Je m'attache ci-après à développer le bordage d'un bateau à double bouchain. Le travail est le même pour un bateau à simple ou à triple bouchain. Pour des raisons esthétiques, on peut préférer l'un ou l'autre. Il est impossible d'affirmer sérieusement que trois bouchains donnent moins de travail que deux ou qu'un !!

PRESENTATION DES TOLES

Pour déterminer les découpes des tôles, on pourrait aisément se baser sur un développé de bordé. Or, on s'aperçoit que le nerf des tôles modifie leur réaction quand on les tend sur une forme. De plus, de menues erreurs suffisent à rendre impossible la pose d'une tôle découpée d'après un développé de bordé tracé par les méthodes de dessin classique. De même, je ne suis pas du tout convaincu par les conseils de relever le gabarit des tôles sur une feuille mince d'isorel, ou de contre-plaqué. Toujours parce que le « nerf » de la tôle sera différent d'une feuille à une autre, selon le sens de la fibre et la tension de roulage qu'elle avait supportée dans la bobine d'où elle a été coupée.

Pour l'artisan qui compte faire plusieurs coques de même modèle (les ponts peuvent être différents) — une bonne méthode consiste à relever le gabarit de découpe des tôles en bordant un des premiers bateaux en tôles galvanisées de 10 à 15 dizièmes.

L'amateur utilisera la méthode suivante, ainsi que l'artisan qui travaille à l'unité.

Une fois la structure entièrement dressée, le fer de quille en place et les lisses dans leurs encoches, à l'aide de palans ou du portique, vous levez les tôles une à une et les posez sur la structure.

On commence par les tôles de l'arrière qui sont les plus faciles à poser.

La tôle de fond est présentée la première.

On la dispose pour qu'elle recouvre le faux couple en arrière du tableau arrière, le fer de quille et la ligne de brisure inférieure. On ne s'occupe pas de la découpe de l'arrière. On relève par l'intérieur la trace du fer de quille sur la tôle pincée

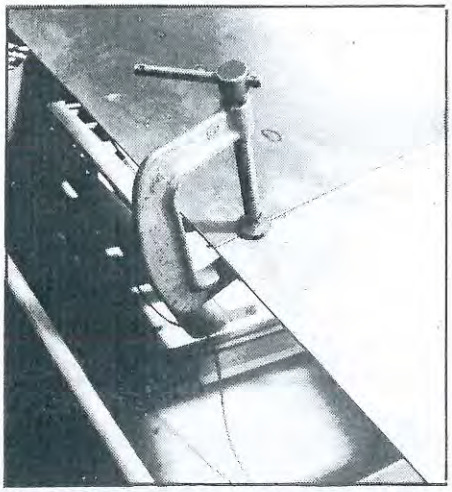


Photo D 20 : *Ajustage des tôles au serre-joint.*

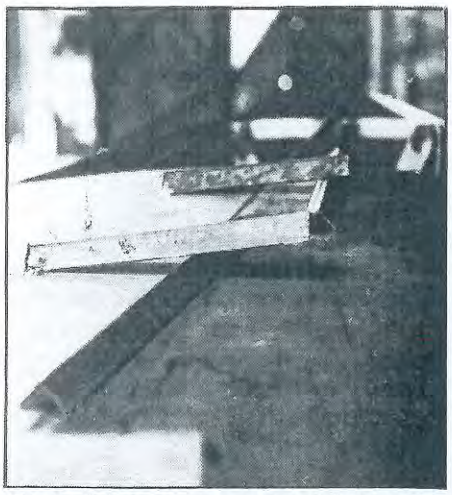


Photo D 21 : *Fers plats servant de leviers pour amener une tôle à sa place.*

Photo D 22 : *Tenue des tôles pour exécuter une soudure montante sans les déformer.*



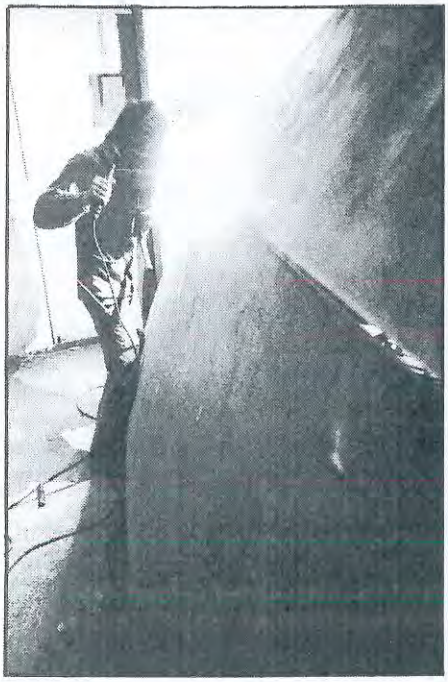
Photo D 23 : *Les tôles au pied du cône d'étrave. Notez à droite les tôles pointées et à gauche les tôles ajustées à la perfection avant leur pointage.*



Photo D 24 : *Cône d'étrave obtenu par pliages successifs.*



Photo D 25 : *Soudage semi-automatique (photo Brument).*



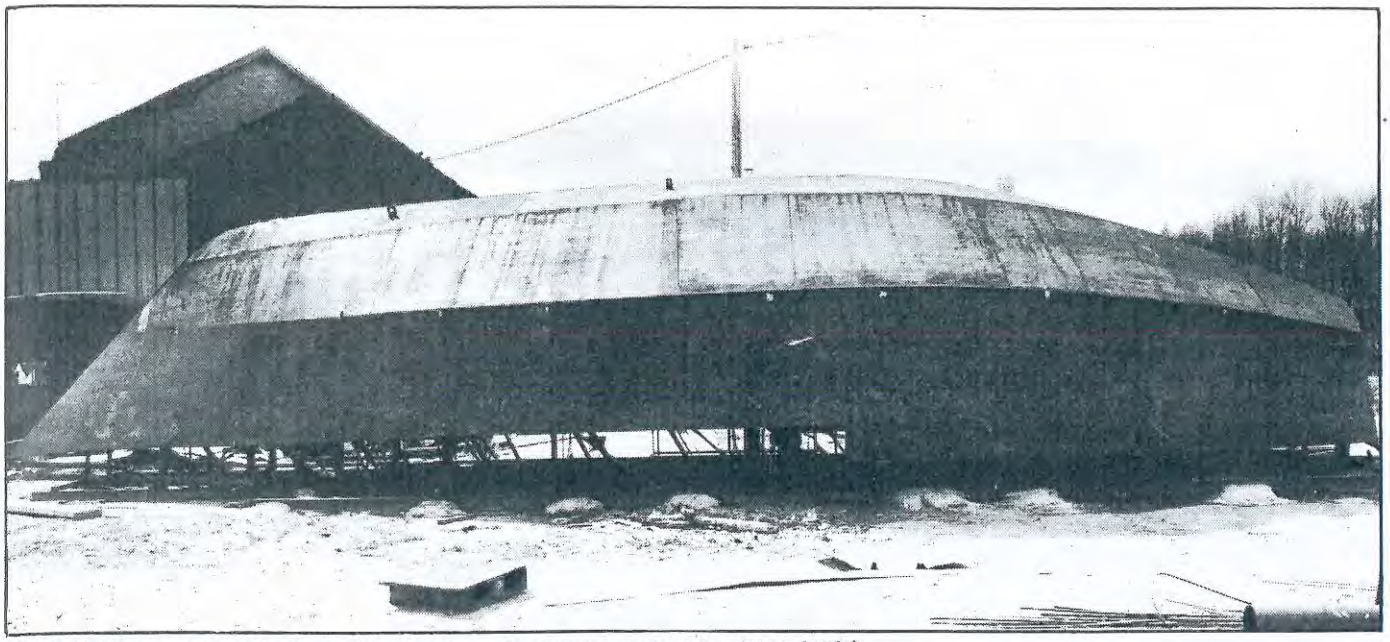


Photo D 26 : *En cours de bordage. Notez les traces de calamine sur les tôles (photo Lardy).*

contre lui par des serre-joints. Puis, on relève chaque angle de gousset de la brisure. Si les goussets ne touchent pas la tôle, il faut avoir pointé dans l'angle de la brisure, soit un gros clou dont la pointe désigne l'angle, soit un triangle de tôle dont l'angle aigu rend le même service.

Une tôle de 4 mètres sera ainsi marquée de quatre à cinq pointes et de la ligne du fer de quille.

On dispose tout de suite la tôle de fond qui se trouve devant la première qu'on a laissée en place. On relève le recouvrement sur la première tôle, la trace du fer de quille, les points de brisure. On procède ainsi pour une troisième tôle vers l'avant en s'arrêtant à 1 m de l'extrémité avant du panneau de fond.

Puis on dépose ces tôles qu'on aligne au sol selon les repères de recouvrement.

On les serre ensemble, on les pointe pour qu'elles ne bougent pas les unes par rapport aux autres.

A l'aide d'une latte, on joint les points relevés contre les angles de brisures.

Ces tôles, une fois découpées, doivent être présentées sur l'autre côté du bateau pour vérifier... la symétrie. Elles peuvent, si tout va bien, servir de gabarit de découpe pour le second bord.

MISE EN PLACE DES TOLES

Là se pose le problème des poids.

Une tôle de 1.000 × 3.000 × 3 pèse 72 kg.

Une tôle de 1.200 × 4.000 × 3 pèse 115 kg.

1.200 × 4.000 × 4 pèse 154 kg (en 3.000, elle pèse 115 kg).

1.200 × 4.000 × 5 pèse 192 kg.

Si bien qu'un bordé de fond d'un bateau de 10 mètres va peser environ 200 kg (en 3 mm) et le bordé supérieur d'un bateau de 12 m pèsera environ 280 kg. Ceci pour un bateau à double bouchain.

Un bordé de bateau à triple bouchain de 12 m pèsera environ 230 kg.

On voit bien que le problème n'est pas différent selon le nombre de brisures. Il se résume à savoir si on assemble les tôles au sol pour lever ensuite l'ensemble d'un bordé (de fond, moyen, puis supérieur), ou si on lève les tôles une à une pour les assembler sur la structure.

C'est donc une question de moyens de levage.

Mais un portique léger en IPN de 80 et un palan de 500 kg, à chaînes, suffisent à lever seuls un panneau de bordé : à mon avis, c'est la bonne solution !

Je vous conseille donc de souder à plat les soudures transversales qui relient les tôles d'un même bordé. Ces soudures seraient verticales si elles étaient exécutées sur la structure. A plat, il sera plus aisé de souder, de meuler et de planer les tôles pour faire disparaître les déformations.

Avant de souder, il faut bien pointer

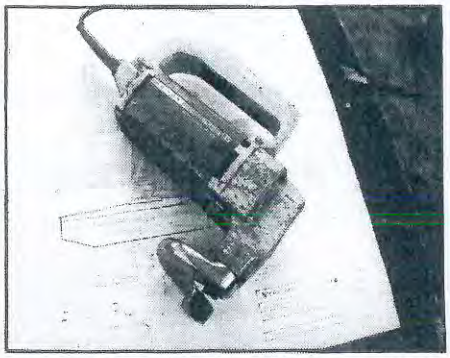


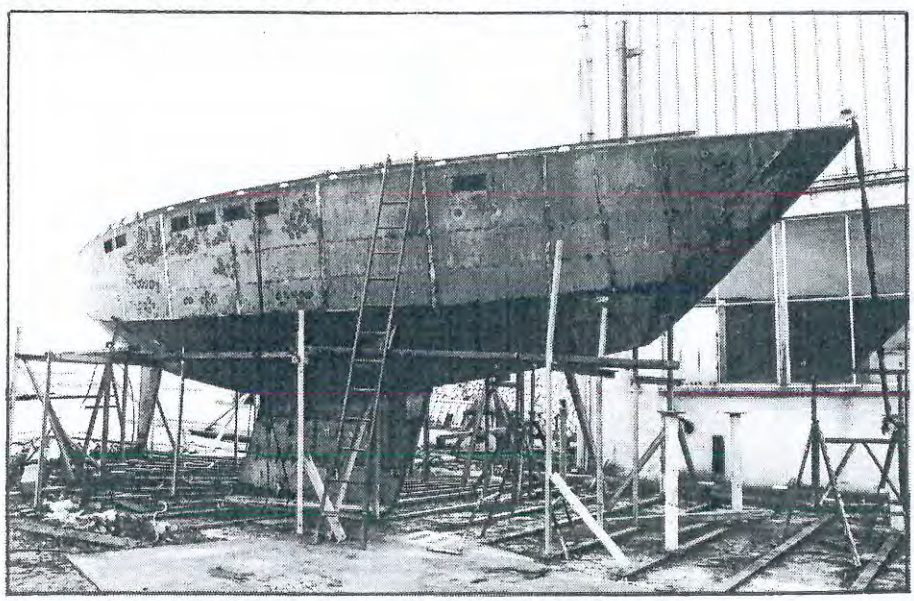
Photo D 27 : *Grignoteuse à main, pour constructeur amateur.*

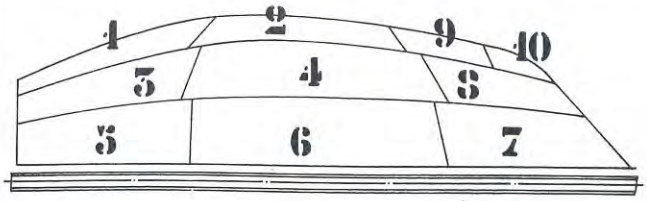
les tôles, un point tous les 5 à 7 cm pour l'amateur, tous les 15 cm pour le professionnel.

On borde ainsi le bateau par les opérations successives de présentation des tôles rectangulaires ;

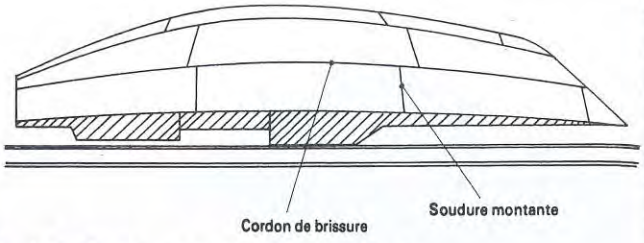
- relevé des points des brisures et des traces des précédentes tôles ;

Photo D 28 : *Notez les chaudes de retrait (photo Architectes Navals Associés).*

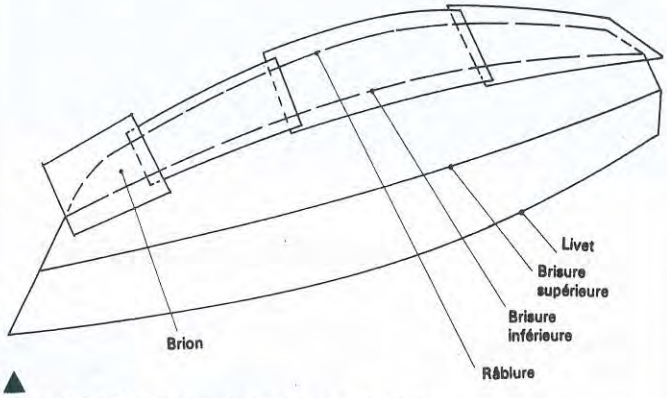




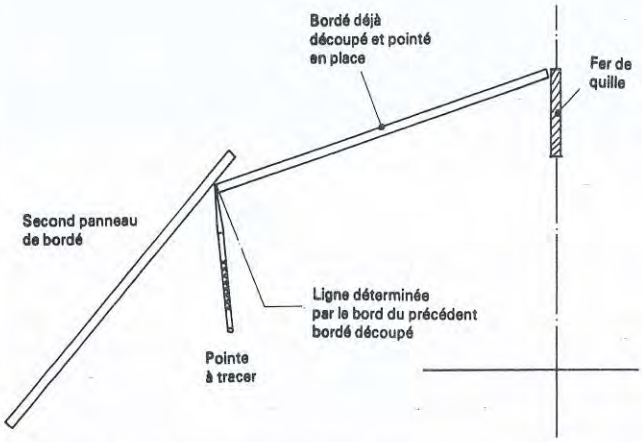
Croquis D 51 : *Chronologie du bordage. Les tôles sont posées symétriquement sur chaque bordé, de l'arrière vers l'avant, sauf la tôle n° 10 qui est posée de l'avant vers l'arrière.*



▲ **Croquis D 52 :** *Il faut éviter que viennent bout à bout les soudures montantes de deux panneaux de bordé. Il faut les « tuiler ».*



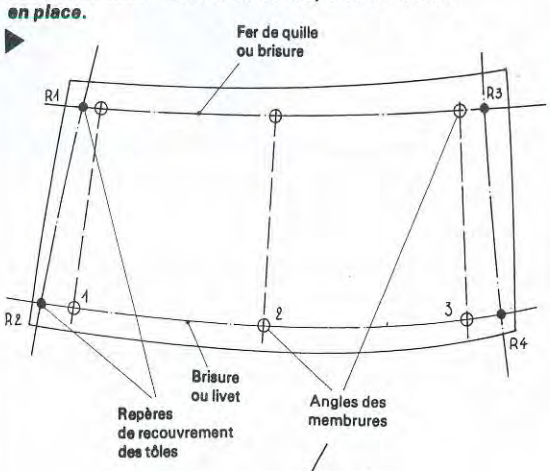
▲ **Croquis D 53 :** *Présentation « tuilée » des tôles.*

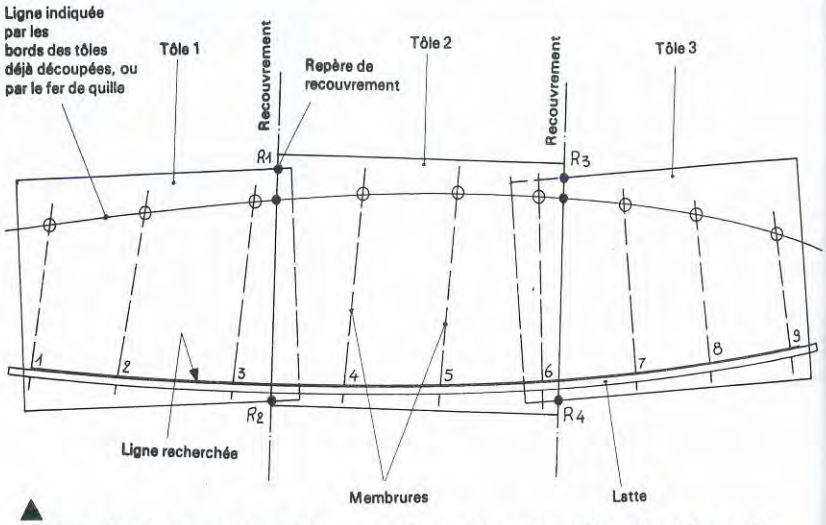


Croquis D 54 : *Report du bord du bordé posé précédemment sur les tôles de celui qui suit.*

Croquis D 55 : *Report sur chaque tôle de bordé des points nécessaires à sa découpe et sa remise en place.*

▶

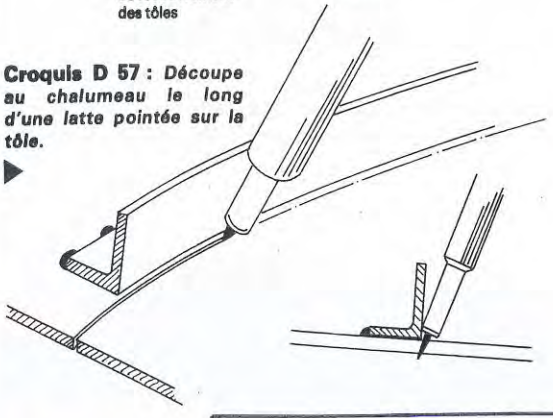


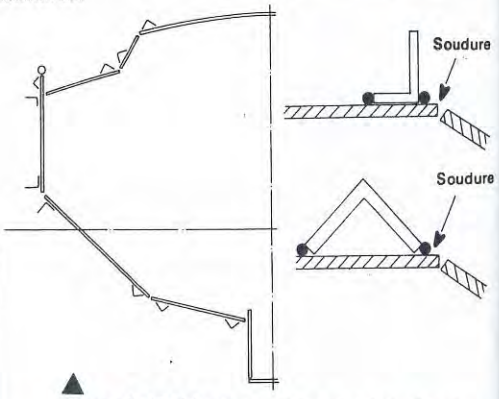


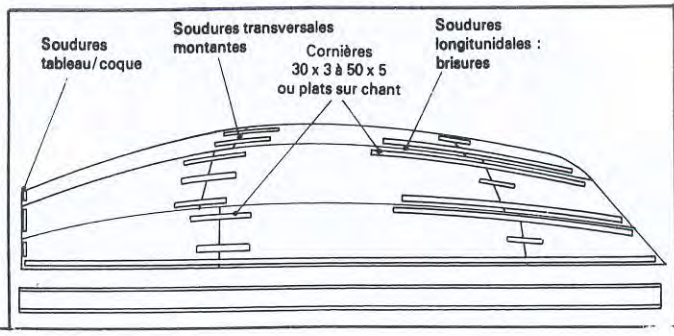
▲ **Croquis D 56 :** *Remise bout à bout, au sol, des tôles qui ont été présentées sur la structure et portent les repères nécessaires.*

Croquis D 57 : *Découpe au chalumeau le long d'une latte pointée sur la tôle.*

▶



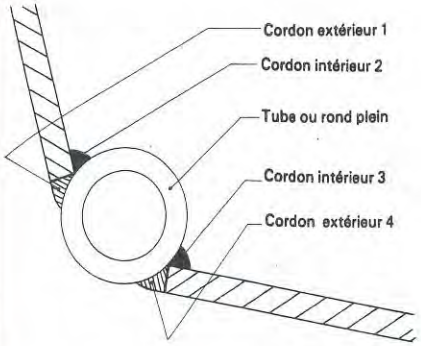




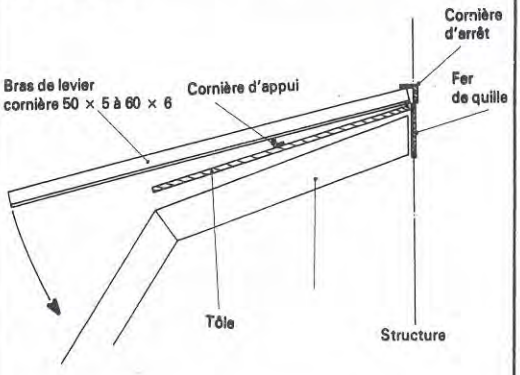
▲ **Croquis D 59 :** *Tenue des tôles lors du soudage par des cornières pointées sur l'aile ou sur l'angle.*

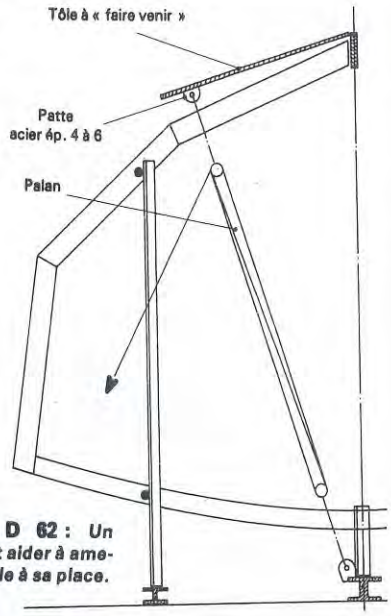
◀ **Croquis D 58 :** *Zones qu'il est utile de brider par des cornières pour éviter les déformations lors du soudage.*

Croquis D 60 : *Placer un rond ou un tube dans une brisure implique le doublement des cordons, chacun pouvant être composé de deux ou trois passes.*



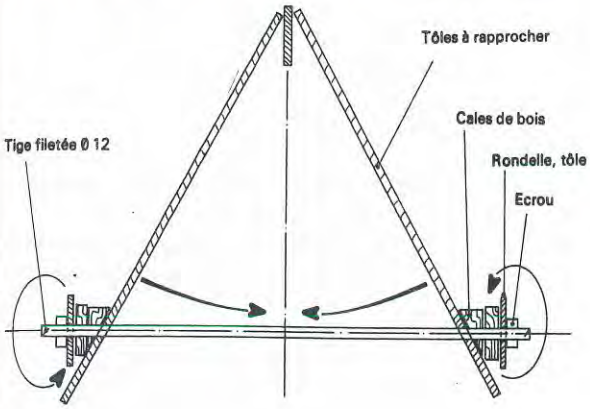
Croquis D 61 : *Une tôle peut être amenée en place à l'aide d'un levier.*



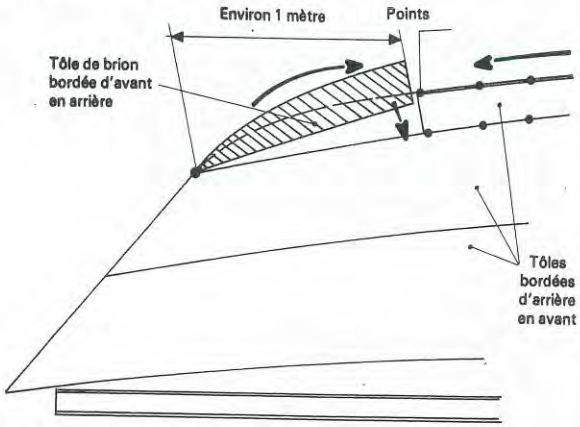


Croquis D 62 : *Un palan peut aider à amener une tôle à sa place.*

Croquis D 63 : *Resserrage de tôles avec une tige filetée.*



Croquis D 64 : *Bordage de la tôle de brion.*



● vérification de la bonne disposition sur la structure ;

● dépose et découpage des tôles, soudage des transversales et remise en place des panneaux de bordé. Pointage des tôles entre elles.

● Libération des lisses ; réglage des lisses ; enlevage des cales. Chenillage des lisses aux tôles.

POINTAGE DES BRISURES

La peau du bateau est alors préparée, à l'exception de la tôle du pied de l'étrave, plus difficile à réaliser, et du tableau arrière.

Les tôles dépassent à l'arrière du faux couple qui guide les lisses au-delà du futur tableau arrière. Elles dépassent aussi au-delà du niveau normal du livet (angle pont-coque) ou du pavois (prolongement du bordé supérieur au-dessus du pont) formant cale-pied.

Ces découpes seront faites plus tard. A l'envers pour la pose du tableau arrière, après le retournement pour le livet ou le pavois.

Les panneaux de bordé doivent maintenant être liés par le pointage. Un espace très régulier de 1 à 2 mm, entre les tôles a été refendu au disque à tronçonner. La régularité de cet écartement est importante pour l'acier, très importante pour l'inox et capitale pour les alliages d'aluminium.

Les tôles toutes remises en place sont pointées entre elles. Des points espacés de 1 mètre environ les font tenir entre elles et en place sur la structure. Puis les points sont resserrés pour parvenir à un espacement de 5 à 7 cm pour un amateur, et 10 à 20 centimètres pour un soudeur professionnel.

Les points seront faits par l'extérieur.

Vous avez remarqué que je n'ai pas parlé de la quille. Voyez le chapitre réservé à sa construction — vous y constaterez qu'en général la quille est faite avant de border la coque, qu'elle ait été construite in-situ sur la structure, ou au sol, et grutée ensuite sur la structure.

LES BRISURES

Pour un bateau à bouchains vifs, il est bien certain que la découpe et le soudage des brisures sont les opérations les plus délicates. La solidité et l'esthétique des coques en dépend. Il a existé plusieurs techniques de fabrication de ces brisures, dont peu subsistent, car la plupart ont montré, d'elles-mêmes, qu'elles étaient erronées ou inutilement complexes.

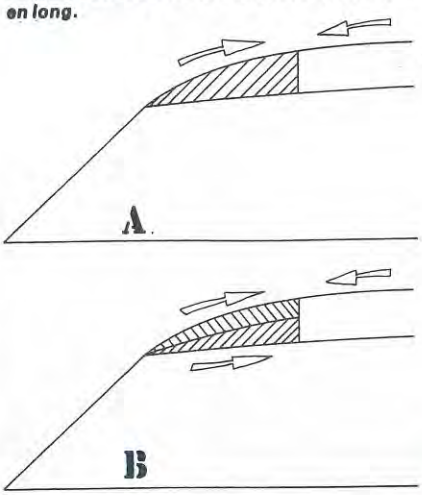
Voici un bref descriptif des essais faits ces dernières années, puis des conseils pour bien souder les brisures. Notez que la technique qui consiste à arrondir les brisures au TAS, comme les angles de roof, voire le livet, est exposée à part dans les techniques d'avenir, car il me semble que cette méthode est un progrès vers un entretien plus facile et une esthétique plus agréable que les artisans comme les amateurs devraient faire leur.

UN TUBE OU UN ROND DANS LA BRISURE

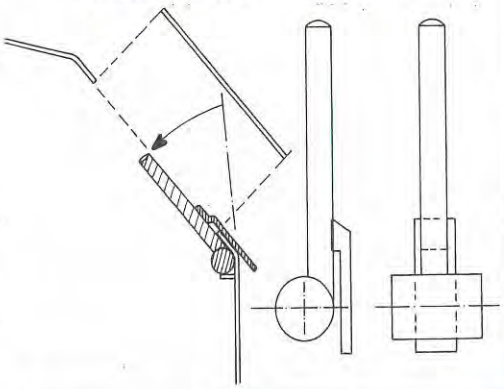
Certains ont pensé que souder un rond (plein) ou un tube (creux) dans la brisure en facilitait la découpe, en améliorait la solidité et réduisait les risques de déformations. Pour avoir pas mal vu de bateaux avec ou sans rond, je peux affirmer que les déformations ne sont ni plus ni moins nombreuses dans un cas que dans l'autre.

Par contre, il est certain qu'ajouter un rond ou un tube donne plus de travail. De chaque côté du tube, il faut un cordon intérieur et un cordon extérieur. Soit quatre cordons ! C'est pour cela que les déformations ont autant de « chances » d'être importantes que lorsqu'on ne met

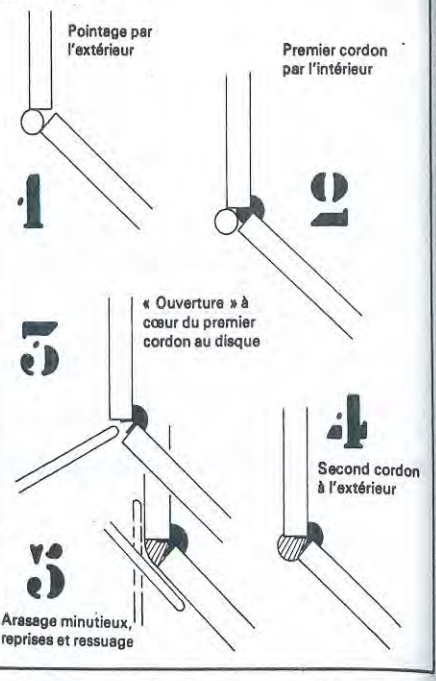
Croquis D 65 :
A : tôle de brion
B : tôle difficile à mettre en place et refendue en long.



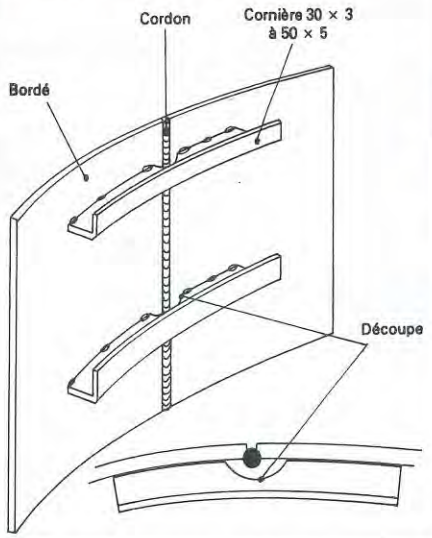
Croquis D 66 : *Outil employé au chantier québécois Francis Thorel pour arrondir les brisures et les angles de pont, roof, etc.*



Croquis D 67 : *Chronologie de soudage d'une brisure.*



Croquis D 68 : *Tenue des tôles par des cornières de façon à éviter les déformations à l'exécution « en place » des soudures montantes.*



rien dans la brisure. Le tube est supposé absorber le choc thermique, lequel est plus grand que pour des tôles bord à bord.

Un tube ou un rond placé dans l'angle des membrures apporte une visualisation de la brisure. C'est certain. Mais il n'est pas du tout évident que le découpage en soit tellement plus « *droit* » pour autant. Par ailleurs, le tube crée un point dur. En cas de choc, on risque de voir une tôle se fendre le long du tube.

UN PLAT DANS LA BRISURE

Un rond ou un tube ne me paraissent pas être des solutions avantageuses.

Un plat le serait-il ?

Dans ce cas, le plat sert à limiter et raidir les tôles d'un des panneaux de bordé. On le place le long de l'angle des brisures, non pas en bissectrice de l'angle, mais à plat contre une des faces des membrures.

Une des tôles est pointée ou soudée sur ce plat. L'autre est raccordée aux deux ensemble. L'inconvénient est que des erreurs de disposition des membrures ne sont pas rattrapables, tout comme avec le tube. Si le plat est pointé contre la tôle, on ne peut guère garantir qu'il n'y aura pas d'infiltration d'eau et de corrosion par aération différentielle. Si le plat est soudé, cela fera plus de déformations !

Cette technique du plat est valable par contre pour appuyer les tôles de pont sur les tôles du haut du bordé.

TECHNIQUE CANADIENNE

Une intéressante technique m'est parvenue du Québec. Le chantier *Thorel*, spécialiste de la construction de *Chatam* et *Ile Disko* au Canada réalise les brisures selon une méthode lente mais élégante.

Il taille les tôles du panneau de fond et du panneau supérieur plus large d'environ 5 cm. Une lisse est à quelques cm de l'angle de la brisure. Elle va servir d'appui. *Francis Thorel* a réalisé un outil composé d'un rond de 5 à 10 cm de diamètre au bout d'un levier, ressemblant à un maillet, mais que l'on va utiliser à plat. Contre ce « *maillet* », et laissant entre le tube et lui 4 à 5 mm pour pincer des tôles de 3 à 4 mm, on trouve un plat en forme de spatule. L'ouvrier pince les tôles avec cet outil mis en appui sur la lisse, et « *tord* » la tôle pour l'aligner avec la pente du panneau moyen. Le rond du « *maillet* » ne mesure que 4 à 5 cm de long, et est très légèrement arrondi sur cette longueur, ce qui ne provoque nulle casse dans la ligne des tôles. Des essais ont été faits avant d'arrêter les dimensions et les formes de l'outil.

Les tôles des panneaux de fond et de bordé supérieur sont ainsi rabattues sur le bordé moyen qui leur est soudé bord à bord.

Avantages de cette formule : le panneau moyen est plus étroit, les soudures ne sont pas en angle, mais à plat dans un cas de figure dit « *bout à bout* ». Soudures solides, faciles à meuler et à planer. Peu de déformations. une bonne idée, mais une réalisation un peu lente, donc coûteuse.

A mon avis, les techniques qui consistent à arrondir les brisures sont valables à condition qu'aucun point dur n'y soit créé, comme c'est le cas avec l'interposition d'un rond ou d'un plat.

Sur le pont, ces arrondis seront encore plus appréciés, car l'entretien d'une peinture sur un bord arrondi est plus facile que sur un angle vif.

La technique décrite plus haut pour tracer les lignes des brisures et découper les tôles donne des bouchains de belle qualité, qui « *filent* » parfaitement.

Voyez aussi la méthode de brisures arrondies au tas qui permet de gagner du temps sur le découpage des tôles et le soulage, outre les avantages déjà signalés quant à l'esthétique et l'entretien.

Le découpage des tôles est fait à la grignoteuse, à la scie sauteuse, ou au disque à découper, voire au chalumeau.

LA TÔLE DE BRION

Un chapitre spécial est consacré à cette tôle qui fait, de chaque côté, le bas de l'étrave : le brion. Le brion présente une cassure plus ou moins nette entre le bas de l'étrave et le ventre du bateau. Maintenant, les architectes modernes ne cherchent plus à dessiner les bateaux en acier de façon qu'ils soient développables selon le vrai sens du mot. On se base sur l'élasticité du matériau dans les épaisseurs courantes, de 3 à 5 ou 6 mm. Mais le brion ne doit pas présenter un vrillage excessif ! L'art de l'architecte est justement d'apprécier jusqu'où il peut aller sans pousser trop loin ! Je signale que cette zone comme d'autres peut parfois très bien « *venir* » en acier, et n'être pas bordable en aluminium, car l'alliage léger n'offre pas les tolérances et la « *bonne volonté* » de l'acier ! Comme le contre-plaqué, l'aluminium n'aime pas n'importe quelle forme. Il se tord, se défend. Et si on le contraint trop, il éclate sous un coup de vague plus fort que les autres. Voyez à ce sujet les notes sur la

conception des bateaux dans chacun des matériaux.

Le bordé de fond est présenté et pointé de l'arrière vers l'avant. Il ne faut pas chercher à aller jusqu'à l'extrémité avant de ce panneau si le vrillage est important et imposerait de contraindre exagérément les tôles.

Il existe plusieurs méthodes pour placer la tôle de brion :

- si le vrillage n'est pas trop important, on peut amener les deux tôles les plus à l'avant, symétriquement droite-gauche, en les perçant, les traversant d'une tige filetée (diamètre 8 à 12 mm). On serre de part et d'autre deux écrous qui repoussent les tôles par l'intermédiaire de larges rondelles en acier qui répartissent la pression.
- dans ce même cas, on peut pointer sur la face interne de ces tôles des demi-anneaux faits dans des chutes d'acier. On y saisit des palans ancrés sur le marbre de construction.
- si le vrillage ne permet pas d'amener la tôle de l'avant jusqu'au bas de l'étrave, il faut la couper à 1 mètre de l'étrave. L'ensemble du panneau de fond est bordé de l'arrière vers l'avant ; la tôle du brion est pointée au fer de quille et bordée de l'avant vers l'arrière.

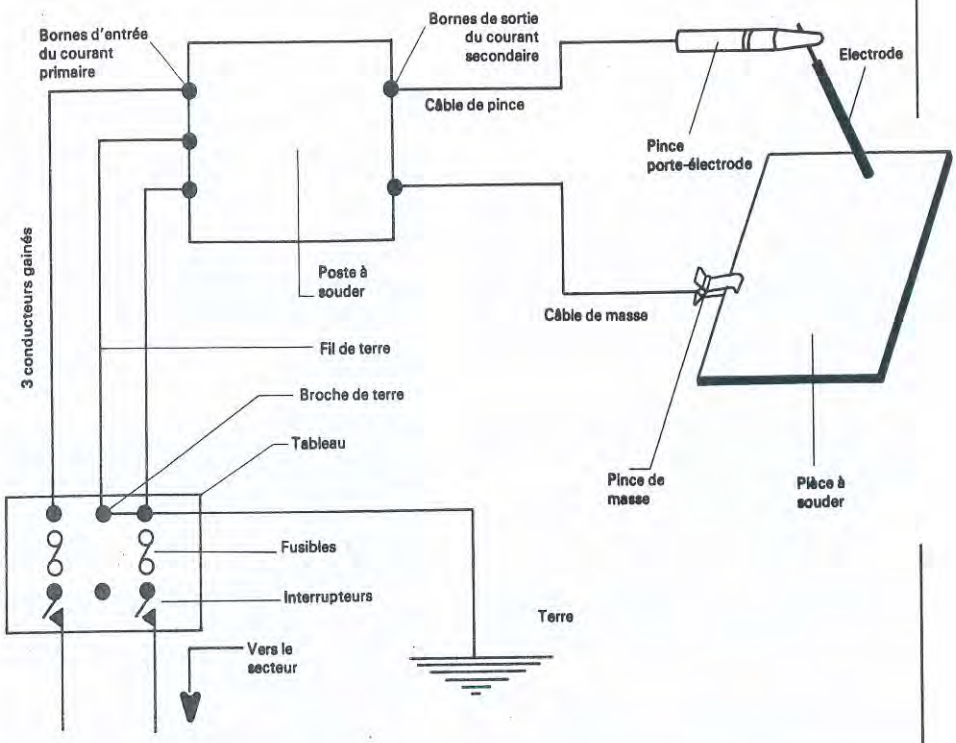
Pour amener ce triangle à sa position, il peut là encore être nécessaire d'utiliser une tige filetée ou des palans.

- si la tôle de brion reste récalcitrante à ces attentions, une ultime solution : on la coupe à 1 mètre de l'avant, comme décrit plus haut. Mais de plus, on la coupe en deux dans sa longueur. Chaque moitié est bordée de l'avant vers l'arrière. Eventuellement, on se servira de palans, mais ce sera rarement nécessaire.

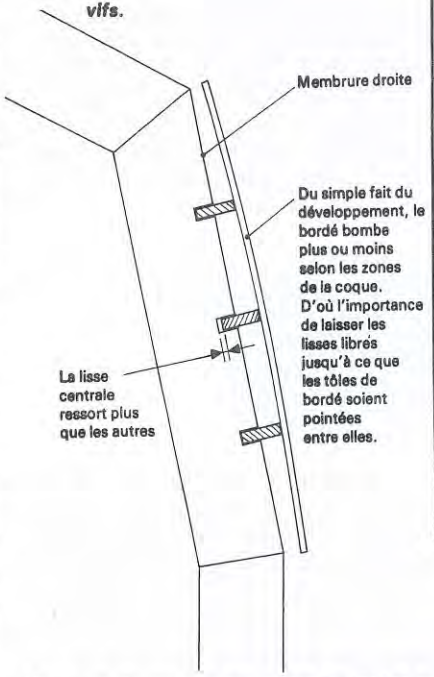
En résumé :

- bordage aisé de l'arrière vers l'avant avec éventuellement usage de palans ou d'une tige filetée.
- bordage plus difficile en repartant de l'avant vers l'arrière, toujours en utilisant, si c'est nécessaire, tige filetée ou palan.
- bordage très difficile et impossible avec ces techniques, on coupe la tôle de brion dans sa longueur et on la met en place de l'avant vers l'arrière.

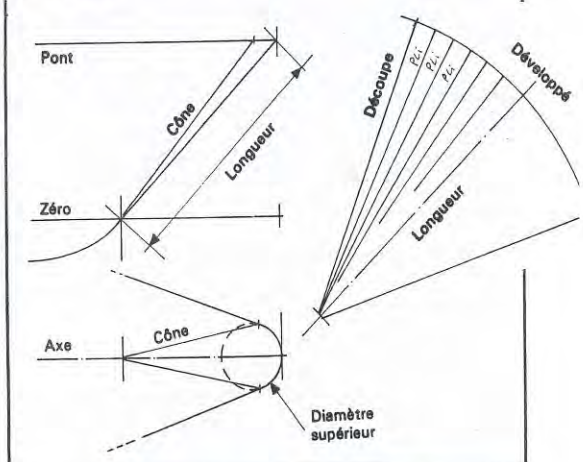
Croquis D 69 : *Schéma d'un dispositif de soudage à l'arc.*



Croquis D 70 : *Bombement naturel du bordé d'une coque à bouchains vifs.*



Croquis D 71 : *Réalisation d'un cône d'étrave à génératrice droite au moyen d'une plieuse par plis successifs.*



LIBÉRATION DES LISSES

Toutes les tôles du bateau, lorsqu'elles sont mises en place, tendent à « *gonfler* » ; c'est-à-dire qu'elles prennent du bombé dans le sens transversal de leur sens de bordage. La tôle de brion n'échappe pas à la règle, et gonfle d'autant plus que son vrillage est important.

Il ne faut donc pas essayer d'appuyer avec des leviers sur les tôles pour les mettre à plat. Et on comprend dès lors qu'il est important d'avoir laissé les lisses libres et de ne pas les avoir pointées aux membrures.

Pour faciliter la construction, les tronçons des membrures sont taillés droit. Or les tôles décrivent de légères courbes. Ce sont les lisses qui vont assurer le passage de la ligne droite des membrures à la ligne courbe des tôles. La lisse centrale demandera à sortir davantage.

Lorsque toutes les tôles du bordé sont mises en place et pointées entre elles comme exposé plus tôt, on libère les lisses des endroits où elles étaient liées par des fils de fer. Et on les pousse vers les tôles ! Car ce ne sont jamais les tôles qu'on plaque contre la structure, mais bien les lisses qu'on pousse vers les tôles qui montrent mieux que les fers de la structure les formes du bateau, et permettent ainsi de juger de leur régularité.

POINTAGE ET CHENILLAGE

Vous l'avez vu, les tôles sont pointées entre elles pour limiter les risques de déformations lors du soudage des brisures. Les lisses, elles, sont chenillées aux tôles et soudées aux membrures, avant le soudage des bordés.

Le chenillage se fait « *au pas de pélerin* ». C'est-à-dire qu'on soude un trait de 5 cm de long d'un côté de la lisse ; puis, 5 à 10 cm plus loin et de l'autre côté de la lisse, on soude un second trait de 5 cm. On revient du premier côté, 5 à 10 cm plus loin pour souder le troisième trait. Et ainsi de suite.

SOUDAGE

Le soudage des cordons transversaux reliant deux tôles d'un même panneau de bordé gagne à être fait au sol, à plat. Il s'agit d'un soudage simple bout à bout à bord droit pour des tôles de 3 à 5 mm d'épaisseur.

Le soudage des cordons continus devra être fait par un professionnel dont l'amateur qui aura fait sa coque pourra louer les services. De la qualité du soudage dépend la solidité, mais aussi la beauté du bordé. En général, il s'agit de soudage bout à bout (bord à bord) à bord droit pour des tôles de 3 à 5 mm.

Au-dessus, on chanfreine en V. Selon la position du bateau, il s'agit de soudage à plat ou en corniche.

Voyez les chapitres sur le soudage.

Le pointage est fait par l'extérieur. L'espace entre les tôles est voisin de l'épaisseur des tôles moins 1 mm (E - 1 mm). On le rouvre d'une façon parfaitement régulière au disque à tronçonner.

Le premier cordon est fait par l'intérieur. Par l'extérieur, on s'assure de sa bonne pénétration. Par l'extérieur, en même temps qu'on coupe les points et meule leurs traces, on couvre à cœur le cordon intérieur au disque à tronçonner. Puis on soude le cordon extérieur. Le cordon extérieur est meulé, au disque à meuler, avec beaucoup de soin. Si les passes ont été bien faites, à cœur, les cordons doivent être arasés parfaitement pour éviter un aspect irrégulier qui nuirait à l'accrochage des peintures, à leur entretien, et faciliterait par contre la fixation des salissures et des herbes.

Pour le pointage et même le chenillage, un poste de 80 à 100 ampères suffit. Pour bien souder les cordons, il faudra passer à 160 ou 200 ampères.

Pour des tôles d'acier E 24, 1 ou 2 et E 26, 1 ou 2, les cordons peuvent très bien être soudés en baguettes rutiles pour les diverses positions rencontrées ou multiposition. Il n'est pas nécessaire de souder en basiques.

Mais ceux qui savent manier les baguettes à enrobage basique pourront utiliser ce type d'enrobage. Usuellement, on reconnaît que les baguettes à enrobage basique peuvent apporter une pénétration supérieure, mais « *collent* » plus et coulent. C'est, à mon avis, une question de formation du soudeur et de tour de main.

L'artisan mieux outillé travaillera en MIG, aussi appelé « *semi-automatique* ».

TENUE DES TÔLES PENDANT LE SOUDAGE

Le retrait du soudage tend à faire prendre aux tôles le plus court chemin, la ligne droite. Aussi, lorsqu'on prépare les bords des tôles en vue du pointage puis du soudage, une bonne astuce consiste à pointer à quelques cm du bord des tôles des cornières en L ou T de 40 x 4. On « *tiendra* » ainsi les tôles de bordé près du livet lors du soudage de l'angle pont-coque ; les tôles d'un même panneau de bordé lors de l'exécution des soudures transversales reliant entre elles les tôles d'un même panneau ; les tôles de bordé de part et d'autre des brisures ; les tôles de la quille et les tôles du bordé de fond lors du soudage de la quille. Mais on tient ainsi également les tôles du pont et du roof à chaque fois qu'une soudure peut faire rentrer les tôles en deçà de leur courbure souhaitée.

Soudant les tôles de bordé d'un bateau en formes, on usera aussi de ces cornières pour assurer la continuité des lignes. C'est une méthode très utile et à peu près indispensable pour éviter ce que l'on appelle les « *casses* ».

Ces cornières sont solidement pointées. Elles sont posées soit une aile contre la tôle (ou les tôles) à souder, soit posées à 45° reposant sur leurs rebords.

Elles assurent la tenue des tôles et il ne faut pas hésiter à les utiliser à chaque fois qu'une soudure risque, par le retrait, de rompre la continuité des lignes d'un bordé. Certes, un planage au marteau, des chaudes de retrait, puis la détente des tôles arrivent à effacer ces déformations, mais ces opérations qui recuisent et écrouissent tour à tour le métal ne lui sont pas bénéfiques. L'acier y est sensible seulement. L'acier inoxydable plus encore. Mais surtout l'aluminium !

UNE PRÉCAUTION AU MOMENT DU BORDAGE DE LA COQUE

Lors du bordage de la coque, vous êtes amené à soulever les tôles pour les présenter sur les structures. Depuis leur lieu de stockage, les tôles sont amenées près de la coque et appuyées verticalement contre la structure. Puis elles sont levées. Pour ce faire, vous employez un portique. Un plan tire-fond à câble ou à chaîne permet de soulever la tôle sur laquelle vous avez soudé une patte en fer plat formé en U. On utilise aussi des appareils autobloquants qui saisissent les tôles en toute sécurité. Mais on imagine qu'une tôle puisse retomber au sol. Un pied qui se trouverait par là serait tranché irrémédiablement. Il est donc prudent de préparer tout autour du bateau des madriers ou des parpaings, d'environ 20 cm de haut, perpendiculairement au bateau. Une tôle qui tomberait reposerait sur ces protections sans toucher le pied qui n'est pas aussi haut. Une protection pas très difficile à mettre en place et qui peut vous éviter bien des souffrances. *(Photos D 20 à D 28. Croquis D 51 à D 71).*

16

LE TABLEAU ARRIERE

Le bateau est encore à l'envers. On laisse le plus souvent l'arrière ouvert pour accéder à l'intérieur et souder les cordons des brisures.

Il existe une bonne et simple façon de faire le tableau arrière, ne nécessitant ni travail de dessin, ni projection géométrique. Un architecte qui aura prévu cette astuce aura coté sur le plan de formes un couple plat tout à fait à l'arrière du bateau. Le tableau arrière, arrondi, incliné ou non sera découpé en avant de ce faux couple.

Ce couple est bel et bien construit, de la même façon que les autres, mais dans des fers de récupération. On lui demande d'être exact et rigide. Les lisses y sont encastrées et réglables comme dans les autres couples. Les lisses dépassent en arrière de ce couple de quelques centimètres. De même les tôles.

TABLEAU VERTICAL

Si les bateaux d'*Eric Tabarly* et bien d'autres ont un arrière à tableau vertical, ce n'est pas par hasard.

Pourquoi se priver d'un morceau de pont en faisant un tableau arrière « *inversé* » ? Et pourquoi se priver d'un bout de voûte, et donc de longueur de flottaison dynamique, en faisant un tableau arrière « *à l'ancienne* » ?

Ainsi un tableau arrière vertical se justifie-t-il. Mais l'esthétique a aussi ses droits !

En tout cas, un tableau arrière vertical est très facile à construire !

Il suffit en effet de réaliser un gabarit de l'arc de cercle correspondant au cintrage du tableau arrière et de le placer au-dessus du bateau toujours à l'envers, à l'endroit prévu.

On descend au fil à plomb la trace de l'arc de cercle sur les tôles (déjà soudées) du bateau. Il suffit ensuite de découper « *selon le pointillé* », à la scie sauteuse et au disque à tronçonner.

TABLEAU INCLINE

On procède de la même façon. Mais la verticale donnée par le fil à plomb doit être corrigée par une équerre d'angle selon la pente prévue pour le tableau arrière.

On détermine ainsi la trace biaise du gabarit sur les tôles de la coque.

On découpe tôles et lisses au disque à tronçonner.

BORDER LE TABLEAU ARRIERE

Une fois les tôles de coque découpées,

border le tableau arrière est un jeu d'enfant !

S'il est prévu de découper des hublots dans ce tableau, je vous conseille de le faire avant de le souder au bordé.

Vous présenterez la tôle du tableau contre la découpe de la coque ; vous la pointez ; vous reportez le profil de la découpe sur cette tôle ; vous déterminez si nécessaire le dessin des hublots du tableau ; vous descendez au sol la tôle afin de la découper. Une fois découpée, la tôle est relevée, plaquée, pointée, puis soudée contre la coque.

Ensuite, les renforts du tableau arrière sont placés par l'intérieur. Cela peut d'ailleurs largement attendre le retournement de la coque !

Facile comme tout et sans risque d'erreur !

UNE JUPE

En ces années 80, avec la mode des dériveurs est arrivée la mode des « *jupes* ». On appelle ainsi le dépassement des tôles de bordé au-delà du tableau arrière. Pour les bateaux de course, il s'agissait d'un artifice de jauge et d'un moyen d'alléger l'extrémité arrière. Pour les bateaux de long voyage, c'est un moyen assez commode pour embarquer et débarquer de l'annexe. On peut aussi y installer une plate-forme de bain où trouveront place le Bib et la bouteille de gaz selon la disposition inaugurée sur *Exploration*.

On bâtit le bateau jusqu'à un faux-couple arrière. Puis on découpe les tôles de bordé suivant des points reportés sur les tôles par visée. Pour ce faire, on dispose à côté du bordé et dans un plan perpendiculaire à l'axe du bateau, deux fers droits ou courbes donnant le profil de la jupe. On fait glisser sur ces fers une règle, bien horizontalement. Son extrémité glisse sur les tôles et détermine par projection la découpe de la jupe.

On découpe les tôles au disque à tronçonner.

Le tableau arrière sera en avant de l'extrémité de la jupe. Mieux vaut le fixer avant le retournement, ou alors il faut avoir attendu le retournement pour couper la jupe ! C'est tout l'un ou tout l'autre !

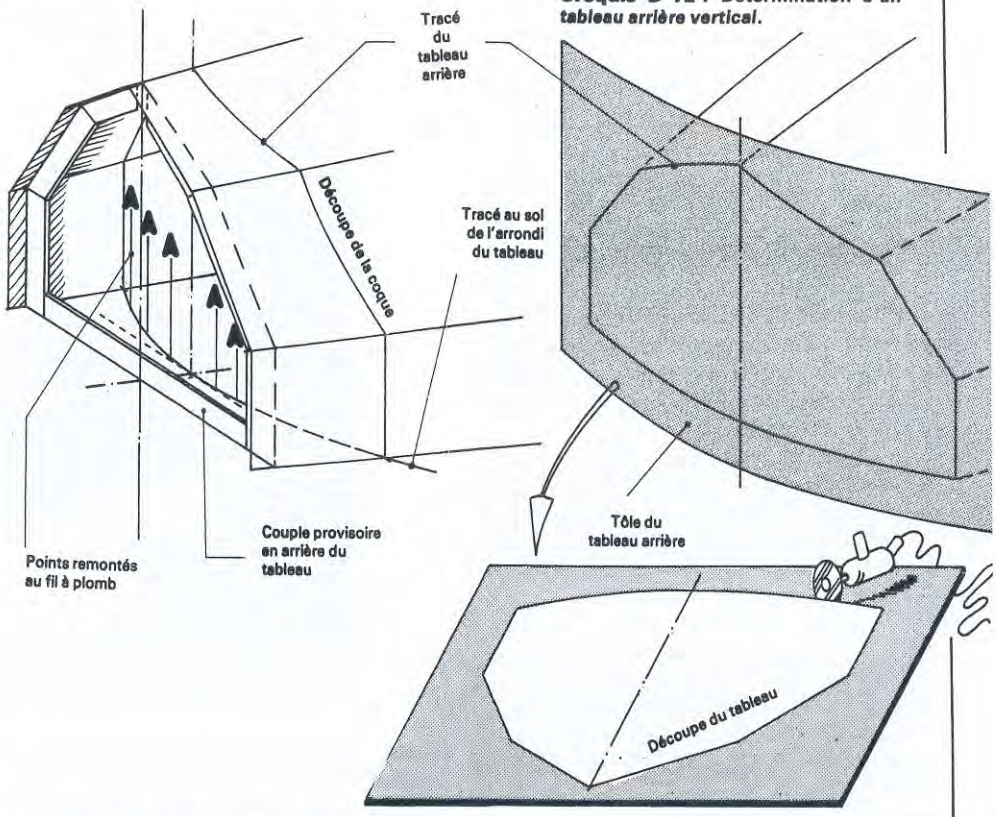
Pour mettre en place le tableau, vertical ou incliné, plan ou courbe, il faut d'abord couper les lisses !

En effet, si vous soudiez le tableau autour des lisses sans les couper, de l'eau pourrait passer sous les lisses ! Mais oui !

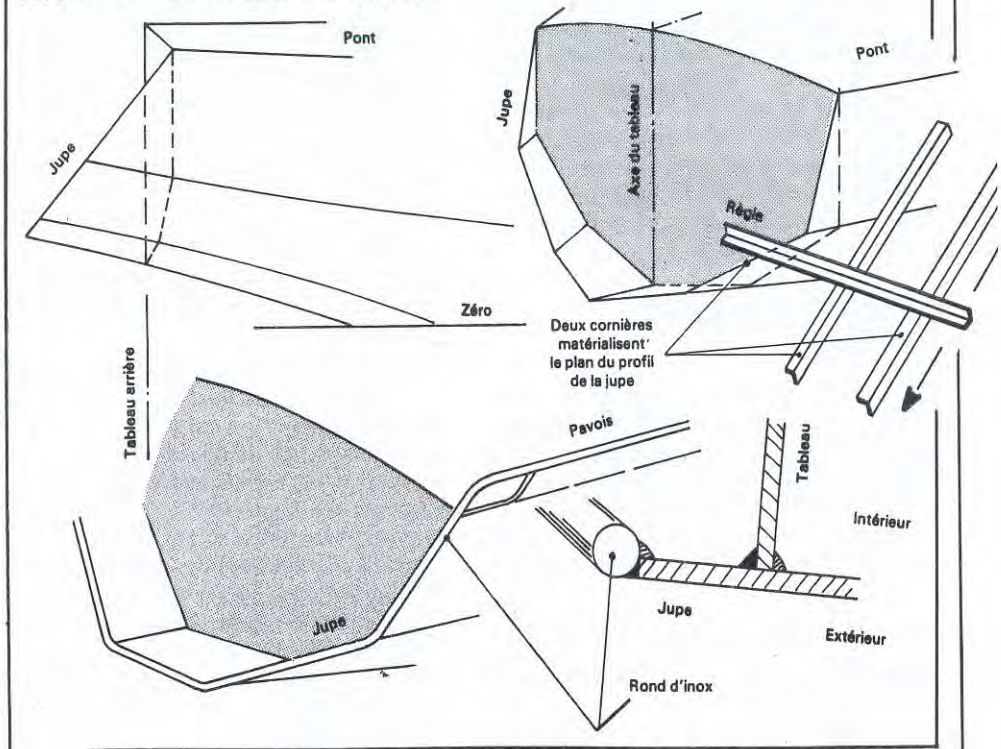
Vous tronçonnez les lisses et enlevez la partie des lisses en arrière du tableau.

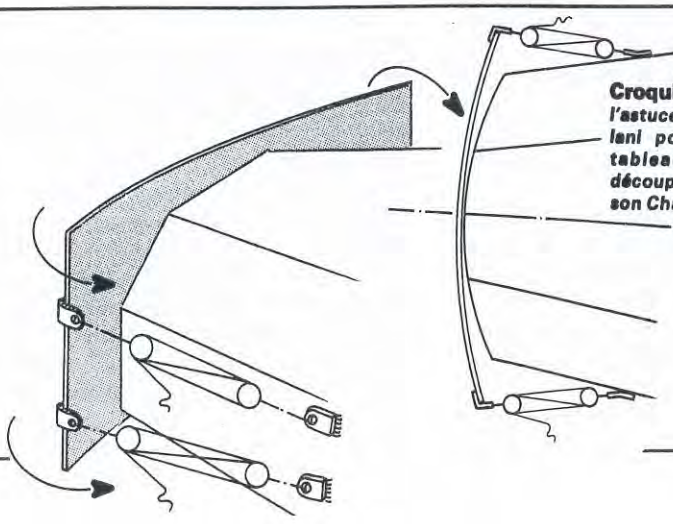
Vous relevez les cotes de largeur du tableau en vous aidant de sa structure de renfort qui, là, peut être mise en place avant la tôle. Vous découpez la tôle et la mettez en place. Vous la pointez puis la soudez.

Croquis D 72 : ***Détermination d'un tableau arrière vertical.***



Croquis D 74 : ***Détermination de la « jupe ».***





Croquis D 73 : ***Variante de l'astuce utilisée par D. Coppolani pour plaquer la tôle du tableau arrière contre la découpe faite dans la coque de son Chatam.***

Une jupe ne dépassant pas 1 mètre n'aura guère besoin du renfort des lisses. Vous pouvez la renforcer par un gousset à chaque angle de brisure, vers l'extérieur. Le tableau sera en tôle de 3 ; les goussets en 4 ou 5.

Il faudra, si le gouvernail est sur le tableau, découper les panneaux de fond pour lui dégager un débattement de 70 à 80° maximum bord sur bord. Puis il conviendra d'encadrer les tôles du bordé d'un rond d'inox de 10 à 12 mm de diamètre pour éviter que les frottements et chocs nombreux que ne manqueront pas de se produire ne fassent vite rouiller l'arrière du bateau !

Le tableau arrière achève le bordage de la coque. Dans la chronologie de construction, il faudra tenir compte de la quille, et je vous invite maintenant à vous reporter à son chapitre explicatif. *(Photo D 29. Croquis D 72 à D 74).*

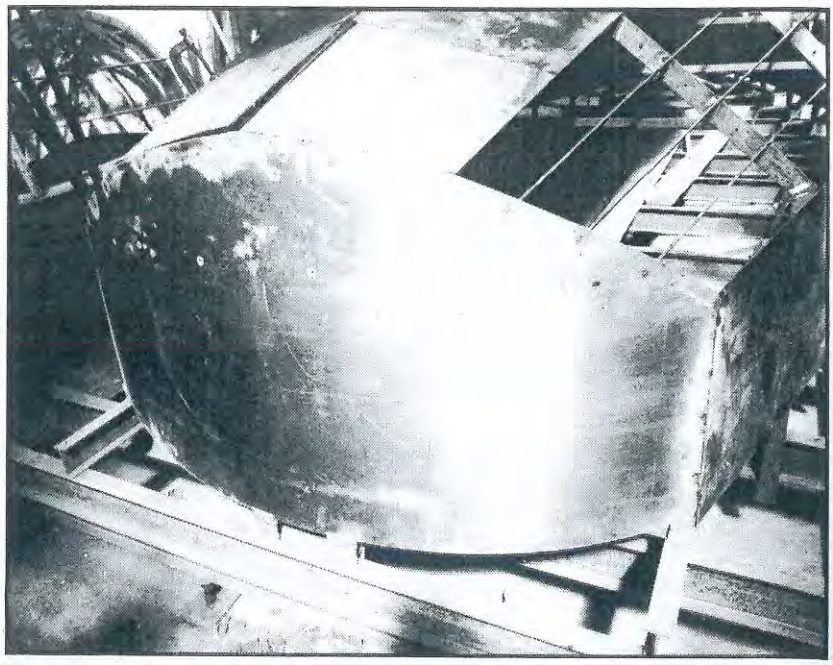


Photo D 29 : *Tableau arrière dans un chantier professionnel mis en place avant le bordage. Il a été découpé sur gabarit et roulé.*

17

LA QUILLE

J'ai choisi de décrire tout le bordage du bateau sans parler de la construction de la quille, puisque, de toute façon, qu'elle soit bâtie au sol ou sur la structure, la quille précède le bordage des tôles de la coque mais ne le gêne en rien. On se réfère aux côtés de la quille comme au profil de fer de quille pour découper les tôles du panneau de fond.

CONSTRUCTION IN-SITU

Grande ou petite, longue ou semi-longue, la quille peut être bâtie directement sur la structure de la coque, « IN-SITU ». Il aura simplement fallu attendre la pose du fer de quille et des lisses ! Imaginez en effet que la quille ait déjà été bâtie sur la structure, et qu'un couple se révèle faux ! !

Après mise en place des lisses et vérification de la structure de coque, la quille peut être construite à l'envers directement sur la structure.

L'avantage est de ne pas nécessiter un portique très solide et un palan très puissant qui devraient être mis en œuvre pour lever une quille bâtie au sol comme je le décris plus loin.

L'inconvénient est une position un peu acrobatique et pas très commode pour travailler.

Les renforts de quille sont pointés sur les membrures, encastrés sur le fer de quille sauf sur la longueur des réservoirs, dont l'accès sera plus aisé si le fer de quille a été coupé en arrière et en avant des renforts qui les limitent. Les renforts sont alignés à la corde à piano.

Le tube d'attaque de la quille est mis en place. Puis la semelle est posée sur les renforts et le tube d'attaque. Cette semelle sera en général épaisse à cause des chocs qu'elle peut avoir à subir. Mais il ne faut pas exagérer cette épaisseur. Certes, la densité de l'acier est plus que correcte pour constituer le lest. Mais il sera difficile de couper l'avant de cette semelle en pente suivant l'alignement du tube d'attaque. Si la semelle dépasse 15 à 20 mm, elle présentera une sorte de rostre inefficace, voire dangereux, car en cas d'échouage, il stoppera le bateau très brutalement, projetant les personnes du bord avec une violence difficile à imaginer. Gare à celui qui sera expédié dans le haubanage !

Et ce lest très allongé d'avant en arrière fera tanguer le bateau d'une façon très inconfortable !

La semelle est pointée et chenillée aux renforts qui ne constituent pas l'avant et l'arrière du réservoir. Elle est soudée étanche aux renforts qui délimitent le réservoir. Le bordage du premier côté de la quille est aisé. On soude par la face opposée. Soudures verticales continues le long des renforts qui limitent le réservoir ; chenillage des autres renforts. Bien entendu, la tôle est soudée étanche le long du tube d'attaque.

Border l'autre côté est plus difficile. S'il n'y a pas de réservoir en quille, ou si le réservoir est rapporté et n'utilise pas les côtés de la quille, rien ne s'oppose à ce que la seconde face de la quille soit chenillée par soudures en bouchon.

Mais s'il y a un réservoir intégré à la quille, il faut souder étanche le second côté aux renforts qui limitent le réservoir. Il sera plus commode de couper ce second côté en deux bandes horizontales qui en général ne mesureront pas plus de 40 à 50 cm de large, dimension qui permet de souder aisément et de voir le travail qu'on exécute.

Ce sont ces soudures qui font la différence et peuvent faire préférer la construction de la quille au sol.

Les bordés de quille doivent impérativement pénétrer dans le bateau. **Ce sont donc les tôles de la coque qui sont soudées sur les tôles de quille, avec reprise par l'intérieur :** soudures en angle intérieur.

Les bordés de quille sont découpés pour être encastrés sur les membrures. Les renforts sont soudés sur les membrures, les varangues et le fer de quille. Les varangues n'étant mises en place qu'après le retournement, c'est donc sur les membrures que les renforts de quille sont d'abord soudés. Le tube d'attaque de la quille est coupé verticalement pour faciliter sa mise en place, et fendu pour son encastrement sur le fer de quille. Je déconseille de le fermer en haut et de le remplir de ciment ou pire encore de mousse de polyuréthane qui « reprendrait » de l'eau de la mer. On peut éventuellement le remplir partiellement de résine à l'eau, type Torolite ou autre.

Les bordés de quille peuvent monter le plus haut possible vers les cornières qui portent les planchers au niveau du réservoir de façon à en accroître le volume. Une fois la quille bâtie, on borde les tôles de fond de la coque.

CONSTRUCTION AU SOL

On peut donc bâtir la quille sur la structure avant de border la coque. Cette dernière solution a ma préférence.

On peut aussi combiner le retournement, le sablage et la pose de la quille pour évacuer le sable du sablage intérieur par le trou du bordé de fond. On y logera la quille après avoir sablé et évacué le sable, bateau remis à l'endroit et suspendu au-dessus du sol.

En moyenne, une quille en acier d'un bateau de 8 à 9 m pèsera 250 kg ; une quille de taille moyenne d'un bateau de 10 à 12 mètres pèsera de 500 à 700 kg.

La gruter n'est donc pas une tâche surhumaine !

Pour bâtir la quille au sol, on fixe en terre un IPN bien droit, bien horizontalement, un peu plus long que la semelle de quille.

La semelle est pointée sur cet IPN de 120 à 140.

Sur cette semelle, on positionne les renforts verticaux et le tube d'attaque avec les mêmes remarques que précédemment au sujet des renforts soudés ou chenillés selon qu'ils limitent le réservoir ou non. On borde facilement le premier côté.

Le second côté est posé en deux bandes horizontales, comme dit tout à l'heure.

REPORT DES COTES DE QUILLE

Les renforts de quille sont verticaux. Mais en général, on dessine la quille en utilisant ses lignes d'eau horizontales. Il faut donc opérer une sorte de rabattement de plan, très aisé d'ailleurs, qu'un simple dessin suffit à expliquer. Cette fois, il n'y a pas de espace de réglage entre les renforts et les bordés de quille. Les cotes de traçage sont « *intérieur bordé* ».

QUELQUES NOTES

- Une quille dont les renforts sont rectangulaires dans toute la partie arrière sera plus facile à border.
- La partie avant présente un vrillage des tôles. Comme les tôles sont assez épaisses (3 à 6 mm en moyenne), il peut

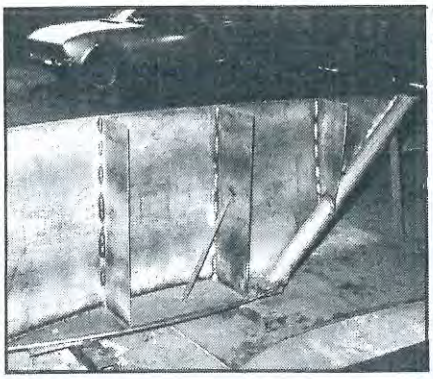
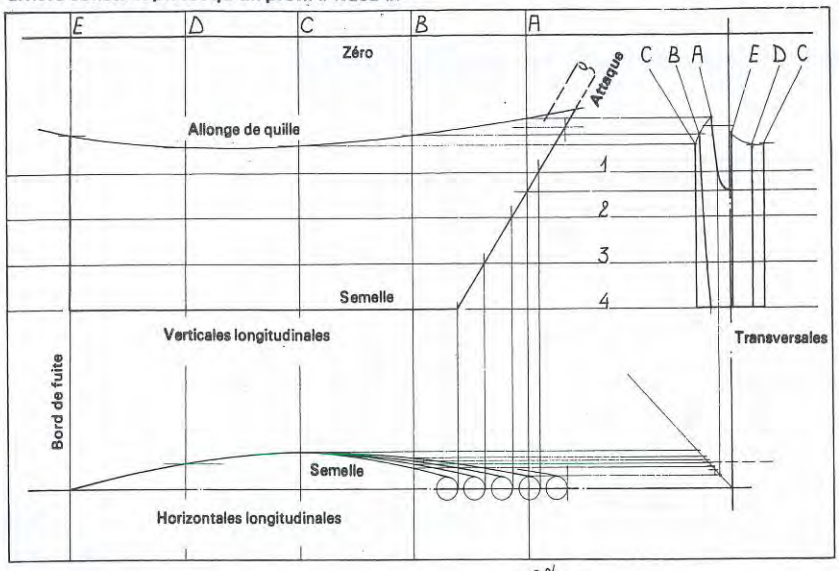


Photo D 30 : *Fabrication de la quille. Les renforts sont chenillés car il n'est pas prévu d'y faire un réservoir (photo Portier).* ◀

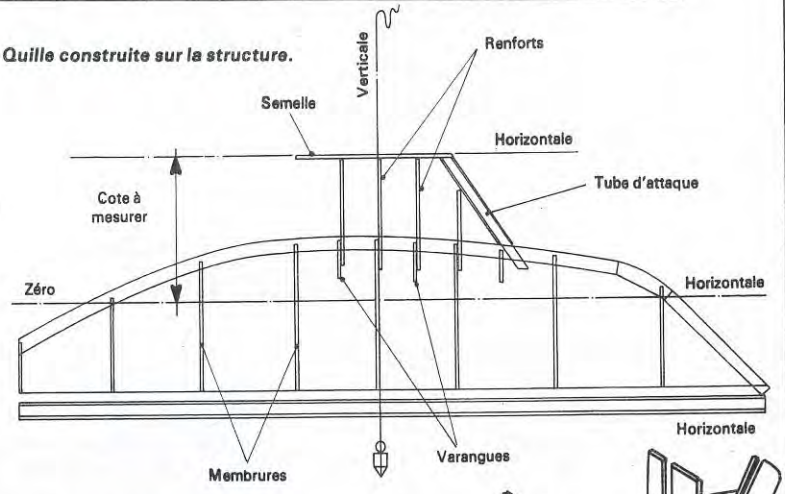


Photo D 31 : *Varangues et entrée de la quille dans la coque.* ▶

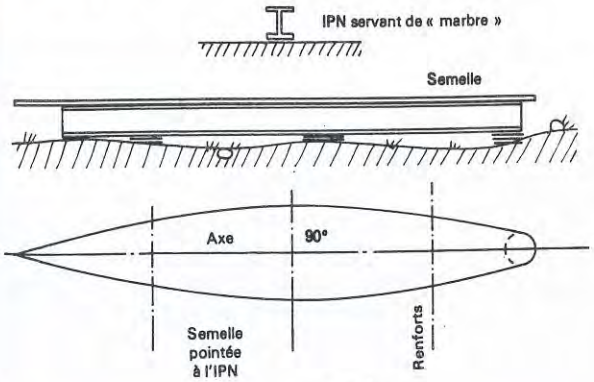
Croquis D 75 : *Tracé de la vue utile pour la construction de la quille (transversales) et du profil de la semelle à partir des vues du plan. On devine ici l'intérêt d'une quille à profil arrière constant plutôt qu'un profil « Naca ».*

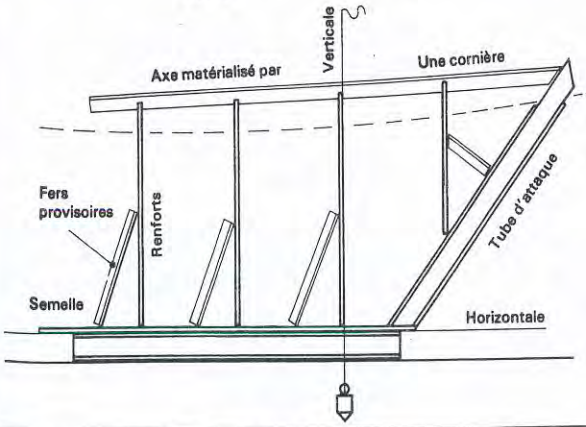


Croquis D 76 : *Quille construite sur la structure.*

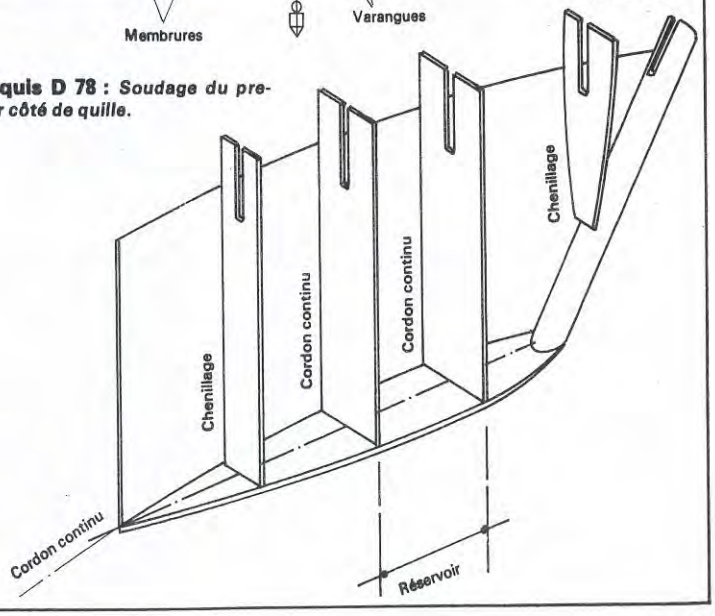


Croquis D 77 : *Quille construite au sol.*





Croquis D 78 : *Soudage du premier côté de quille.*

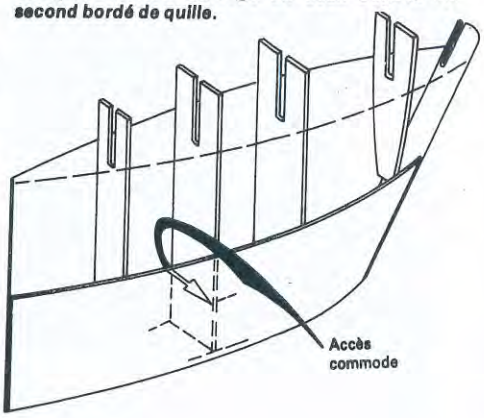


être nécessaire de les percer et de les traverser d'une tige filetée. Un boulon avec une rondelle est serré de chaque côté et l'ensemble rapproche les deux tôles des renforts et du tube d'attaque.

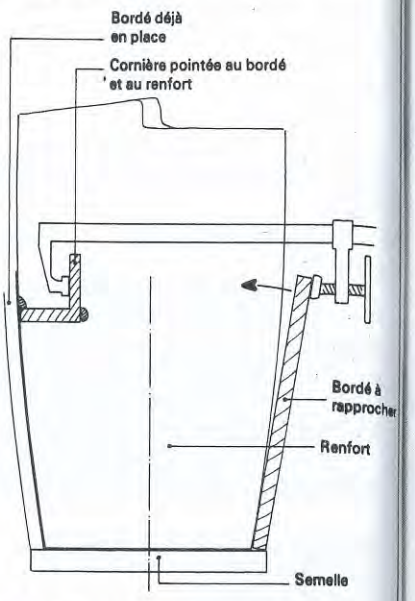
● Si la quille est bâtie au sol et grutée en place, on gagne à trancher verticalement le haut du tube d'attaque qui pénètre dans la coque.

● Si la quille est bâtie au sol, mieux vaut la sabler et la peindre avant de la mettre en place. Les zones brûlées sont bien peu de choses à côté du travail de sablage de la quille, fait après le retournement du bateau !

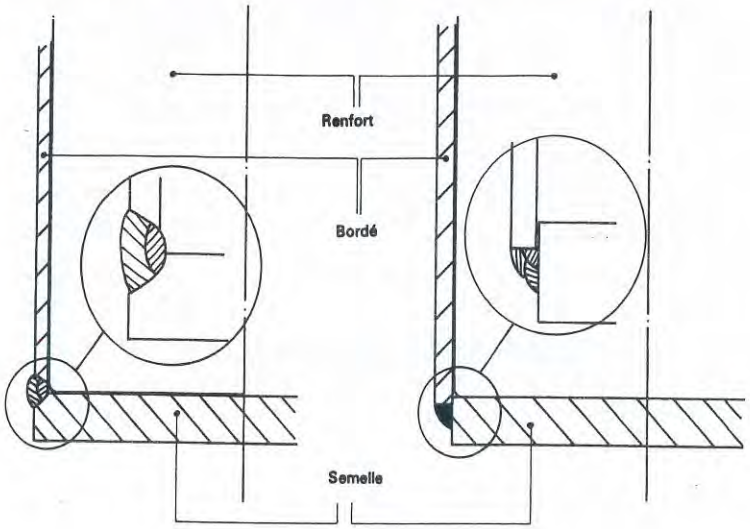
Croquis D 79 : *Soudage en deux bandes du second bordé de quille.*



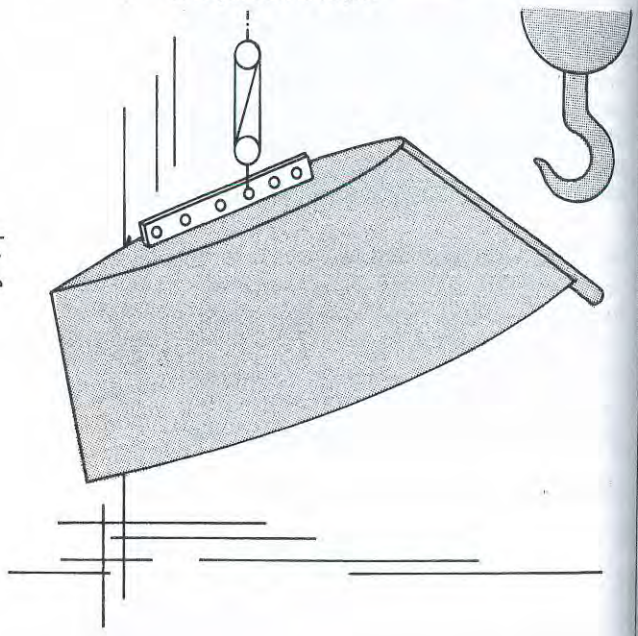
Croquis D 81 : *Méthode pour serrer un bordé en place.*



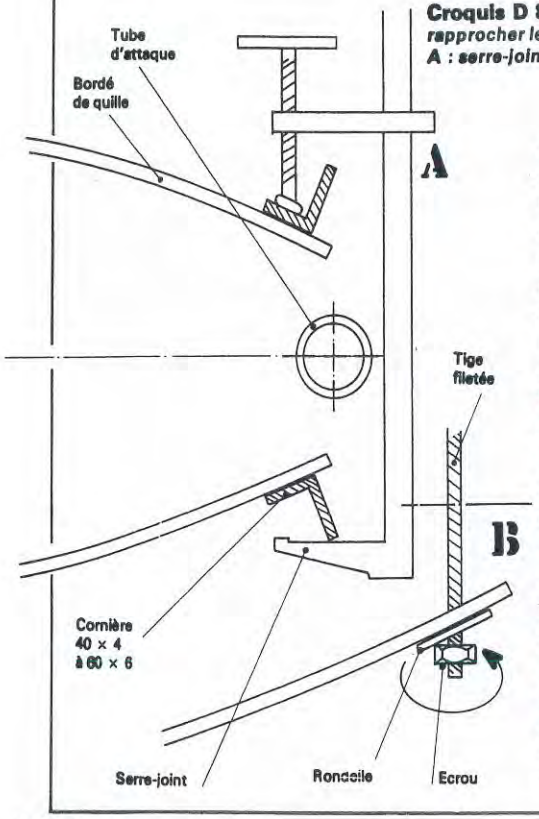
Croquis D 82 : *Deux types de liaison du bordé de quille à la semelle.*



Croquis D 83 : *Fer perforé facilitant le grutage de la quille sur la coque.*



Croquis D 80 : *Deux méthodes pour rapprocher les tôles de quille. A : serre-joint. B : tige filetée.*



● On peut présenter la quille, border la coque, puis enlever la quille avant de retourner la coque, de la ponter et de la sabler. Ainsi, on évacue le sable par le trou où viendra se présenter la quille. On peint le bateau et la quille, puis on fixe la quille. Je répète que les zones brûlées par le soudage sont peu de choses à côté du travail représenté par un sablage du bateau terminé et posé à l'endroit sur sa quille.

● Les renforts de quilles sont maintenus en place, avant bordage de la quille, par des fers provisoires en L de 30 × 3.

● Pour gruter, en place la quille, on soude sur sa semelle deux pattes en chutes de tôle de 3 ou 5. On règle le point de levage sur ces deux pattes afin d'équilibrer la quille pendant le grutage.

● On coupe les angles inférieurs des renforts de façon à faciliter l'écoulement de l'eau et la répartition de la résine qui scelle le lest. Naturellement, on ne coupe pas les angles inférieurs des renforts qui limitent le réservoir.

● Dans le passé, on indiquait de remplir partiellement les zones les plus exiguës de l'avant et de l'arrière avec du ciment. Cela ne se fait plus d'une part à cause du poids que cela représentait, et à cause du rôle nocif peu contrôlé du ciment et de l'eau de mer dans les fonds. On nappe maintenant le fond des zones peu accessibles avec de la résine à l'eau et d'éventuels déchets de peinture, fonds de pots... Sont ainsi traités les recoins du bord de fuite, du tube d'attaque et l'intérieur du tube d'attaque.

● Je déconseille fermement de clore le dessus de la quille par une tôle soudée. Mieux vaut laisser « *respirer* » ces recoins que les condamner. Et ceci est vrai pour tous les matériaux, et toutes les zones considérées. *(Photos D 30 et D 31. Croquis D 75 à D 83).*

18

RESERVOIR EN QUILLE

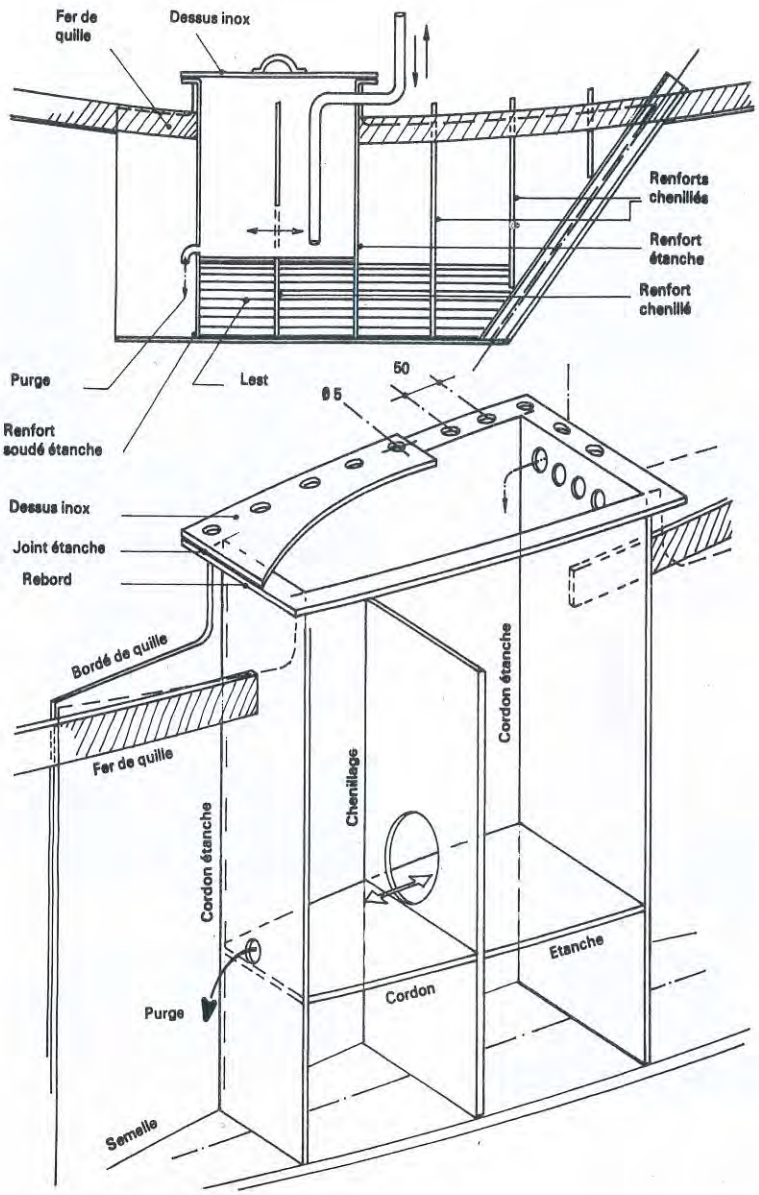
Pourquoi ne pas utiliser en effet le volume de la quille pour y loger de l'eau ou du fuel ?

SITUATION

La quille de votre bateau en acier peut présenter un volume accessible. Si elle a des renforts verticaux surtout. Le fer de quille sera interrompu au renfort immédiatement en arrière du pied de mât et repart du renfort qui précède le bord de fuite de la quille. Si la quille est à génératrice inclinée et renforts inclinés, il n'est pas certain qu'on puisse souder étanches les renforts qui pourraient limiter un réservoir. C'est souvent le cas de bateaux de tailles modérées (8 à 10 mètres) créés avec un souci de performance. Là, il ne sera peut-être pas souhaitable de réaliser un réservoir à même la quille, car il pourra y avoir des fuites. Fuite d'eau ou de fuel hors du réservoir mais aussi pénétration d'eau sale dans le réservoir aussi néfaste pour l'eau potable que pour le fuel et le moteur.

La Marine Marchande impose à juste titre un compartiment neutre entre le réservoir d'eau et le réservoir de fuel si tous deux sont bâtis à même la quille. C'est-à-dire que ces deux réservoirs doivent être séparés par plus d'un renfort soudé étanche. On y fera souvent un puisard ou un bac par de la chaîne supplémentaire.

Croquis D 84 : *Réservoir en quille.*



CONSTRUCTION

Il s'agit donc bien ici d'un réservoir soudé qui utilise les bordés et les renforts de quille.

Il faut d'abord traiter la quille. Qu'elle reçoive de l'eau ou du fuel, la zone utilisée en réservoir doit être dérouillée, zinguée et peinte. Peinture « alimentaire » pour l'eau ; peinture résistant aux hydrocarbures pour le fuel. Pas de zinc en contact avec le fuel !

Puis il faut déposer le poids de lest qui se trouve sous le réservoir. Si c'est l'ensemble du lest qui se trouve sous le réservoir, il n'en faut déposer, à terre, que les 4/5e. Le reste sera déposé ensuite, bateau en charge, à flot, pour l'équilibrer parfaitement. Selon un procédé exposé au chapitre qui traite du lest et de l'équilibrage.

Il faut souder une tôle sur le lest ; elle servira de fond de réservoir. Sur l'avant ou l'arrière du réservoir, on perce le renfort et on soude un robinet en inox pour purger et laver l'intérieur du réservoir. Les eaux de rinçage sortiront par ce robinet, s'écouleront dans un puisard d'où elles seront pompées. Il faut traiter parfaitement le fond du réservoir et faire un essai de ressuage pour vérifier l'étanchéité des soudures.

Les bordés de quille montent le plus haut possible vers la face inférieure des cornières qui portent le plancher. On leur soude un rebord, en tôle de 4 mm, tourné vers l'extérieur du réservoir. Ce rebord est percé et recevra le boulonnage du couvercle, simple tôle plate de 4 mm, si possible en inox 304 L.

On soude sur un des côtés du réservoir les pipes d'arrivée et de départ. Ce seront des tubes d'inox destinés à recevoir des portions souples raccordées avec des colliers à vis, en inox, du type Serflex.

Pour un réservoir d'eau, on détaille :

- l'arrivée de remplissage : diam. 40 mm,
- la mise à air libre (reniflard) : diam. 20 mm,
- une ou plusieurs sorties vers des appareils : diam. 3/4 de pouce.

Pour un réservoir de fuel, on trouve :

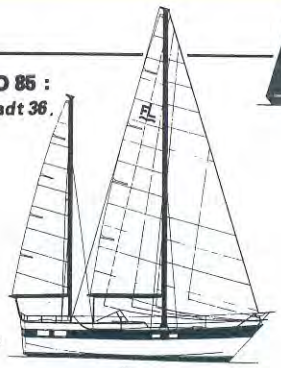
- l'arrivée de remplissage : diam. 40 mm,
- la mise à air libre : 20 mm,
- l'alimentation en fuel : diam. 8 × 10 mm,
- le retour du fuel : diam. 8 × 10 mm.

Ceci est détaillé au chapitre « Réservoirs » où je parle de la fabrication des réservoirs rapportés, c'est-à-dire construits à part et boulonnés soit dans la quille, soit ailleurs dans le bateau.

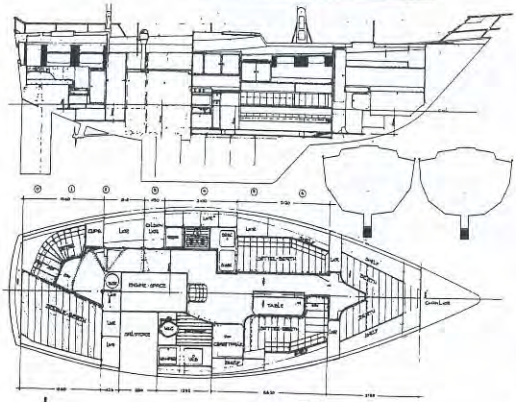
L'important est l'étanchéité des soudures et l'absence de rouille sous le réservoir dans le caisson contenant le lest.

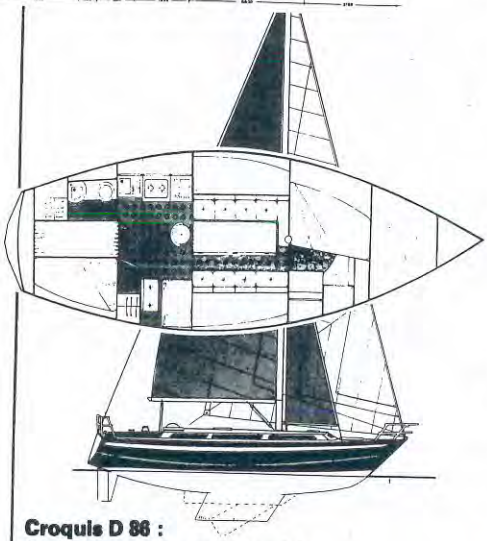
Important aussi que le fuel ne soit pas en contact avec le zinc qui doit être recouvert d'une peinture compatible avec les hydrocarbures. *(Croquis D 84 et D 85).*

Croquis D 85 :
Van de Stadt 36.



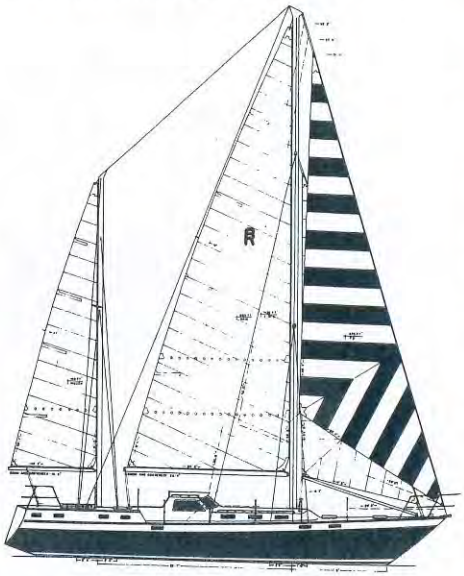
Plans for :
multi-chine
steel construction

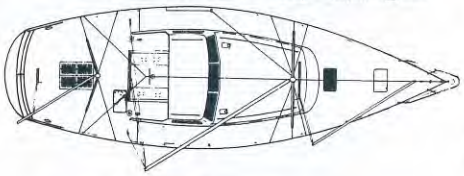


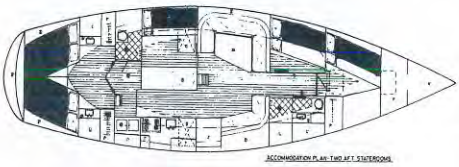


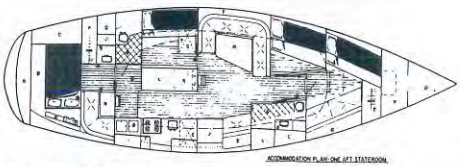
Croquis D 86 :
Alix 11,80 (architecte D. Provin).

Croquis D 87 : *Roberts 53, version E, cotre ou ketch (architecte B. Roberts, U.S.A.).*









19

LEST ET EQUILIBRAGE D'UN QUILLARD

La polémique sur le poids de lest relativement aux autres poids du bateau est heureusement démodée. La stabilité de formes a repris ses droits et, l'information aidant, on sait désormais qu'un lest de 30 à 35 % peut largement suffire à la sécurité comme aux performances.

MATERIAUX

Le lest a pour rôle de descendre le centre de gravité du voilier, quillard ou dériveur. Sa densité a une importance indéniable sinon primordiale.

Dans les quilles d'un quillard, les variations de la densité provoquent des différences importantes de la hauteur, donc du centre de gravité. En effet, si la longueur peut être importante, la largeur est faible. Ce n'est que par la hauteur que les différences de densité s'expriment.

Le lest déposé dans une quille en acier, dont on compte tout ou partie du poids comme lest, pourra être :

- en plomb fondu
- en lingots de plomb
- en lingots de fonte
- en déchets de plomb
- en déchets d'acier
- en poudres et grenailles d'acier

Le choix du matériau sera souvent une question d'opportunité : chutes de tôle, débouchures de poinçonneuse d'une usine voisine. Ce sera aussi une question de prix, le plomb subissant des variations importantes d'une saison sur l'autre. Inutile, en général, de choisir le plomb. Souvent, la densité du lest utilisée pour calculer la stabilité du bateau, quillard ou dériveur, sera compatible avec l'usage de déchets d'acier beaucoup moins coûteux.

Un lest très dense peut permettre d'en réduire le poids dans une proportion à envisager avec l'architecte de votre bateau.

TABLEAU DE DENSITES MOYENNES DE LEST

Je vous donne ci-après les densités moyennes, non des matériaux, mais des lests réalisés par ces matériaux, la quille elle-même n'étant pas comprise.

Matériau	Densité moyenne du lest	Densité brute du matériau
Plomb fondu	9 à 10	11,37
Lingots de plomb	7 à 8	11,37
Déchets de plomb	6 à 8	11,37
Lingots de fonte	4 à 6	7,3
Déchets d'acier	4 à 6	7,3 à 7,8
Poudres et grenailles d'acier	4 à 6	7,3 à 7,8

REALISATION

Naturellement, la densité sera en relation directe avec le soin pris à serrer les parties de lest et à éviter les vides ! On combine souvent les déchets de grande taille disposés couche par couche avec, intercalés, des déchets de plus en plus petits au fur et à mesure qu'on remplit les interstices. Par exemple, des lingots de fonte, des chutes de tôles, des poudres et grenailles. Le tout en une sorte de *« gratin dauphinois »*, couche par couche.

En général, les bateaux de petite taille réalisés en acier gagneront à avoir un lest de haute densité afin de gagner en poids de lest. De plus grands bateaux pourront avoir un poids de lest plus largement prévu et donc ne nécessiteront pas une aussi profonde recherche de densité.

On peut aussi concevoir, comme je l'ai fait pour l'*Ile Disko*, de fixer un poids de lest mettant le bateau dans sa charge maximum. Lorsqu'un bateau naviguera plutôt près de nos côtes, avec de faibles quantités de charge, et qu'on aimera le voir doté de bonnes performances, on mettra le poids maximum de lest prévu et on veillera à alléger le reste des poids du bateau : aménagements, chaînes et ancres, charges d'eau et fuel.

Par contre, si le bateau doit voyager très loin, très chargé en eau, fuel et vivres, on ramènera le poids de lest vers le minimum de la fourchette.

Le lest total de l'*Ile Disko* est au maximum de 3.800 kg, dont 700 kg de quille comptés comme lest. On dépose donc 3.100 kg de lest dans la quille pour un bateau très chargé, avec un lest de déchets en acier. Et on réduira même ce poids de lest déposé à 2.600 kg pour un lest en plomb fondu bien réalisé. Ce qui fait varier la charge utile de 1.900 kg dans le premier cas à 2.400 kg dans le dernier cas. Ça en fait de l'eau, du fuel et des vivres !

MISE EN PLACE

Quel que soit le matériau dans lequel le lest déposé est fait, il faut d'abord traiter

la quille entièrement là où il se trouvera placé. Il faut décaper l'acier (sauf construction en acier pré-peint), le dégraisser, le zinguer puis le peindre. Le plomb fondu sera déposé liquide à l'aide d'une sorte de louche à long manche. Eventuellement, la quille sera arrosée d'eau froide par l'extérieur.

Dans les autres cas, les morceaux constituant le lest sont déposés par ordre décroissant de dimensions, couche par couche.

Lorsqu'un réservoir est construit à même la quille, la quantité de lest déposée sous le réservoir est mise en place définitivement et scellée à la résine. Puis une tôle est soudée étanche au-dessus du lest pour constituer le fond du réservoir. Reportez-vous à ce chapitre.

Lorsque la quille comporte plusieurs compartiments, l'architecte vous indiquera la position longitudinale du lest et, éventuellement, sa hauteur moyenne ou dans chaque compartiment. Il faut suivre ces indications.

SCELLEMENT

Le lest d'un quillard sera calé dans la quille par de la résine à l'eau type Torolite, déposée entre les blocs couche par couche. Il n'est pas nécessaire, mais souhaitable, de remplir tous les vides laissés par les lingots entre eux. Dans le cas d'un lest en plomb fondu, on se contentera d'une étanchéité réalisée par de la résine Torolite coulée sur le dessus. En refroidissant, le plomb fondu a effectué un retrait qui l'a décollé des parois de la quille. Ces « *jours* » seront remplis de résine. On peut aussi faire le scellement d'un lest en acier avec du ciment à sceller assez liquide. En aucun cas, on ne met de ciment avec un lest en plomb ! Plomb ou acier, la résine est préférable au ciment !

Lorsqu'on veut pouvoir entretenir parfaitement l'état de propreté du dessus de lest, il faut le plastifier de deux ou trois couches de mat de verre de 300 grammes au mètre carré, avec de la résine à l'eau. Puis on peut enduire et peindre le dessus du lest.

Tel que je viens de le décrire, ce scellement ne peut en aucun cas permettre au lest d'un quillard retourné par une vague, de sortir de la quille et tomber dans l'habitacle. D'ailleurs, ce mythe n'est jamais arrivé à des voiliers modernes ! C'est arrivé dans le lointain passé des bateaux en bois où la quille n'existait pas telle que nous la connaissons maintenant. Le lest était fait de gueuses de fonte ou de galets de ciment, dans les fonds.

Inutile de souder des barres de blocage !

Inutile aussi d'espérer enlever le lest en cas d'échouage ! C'est un cas de figure qui relève plutôt des fantasmes que de la réalité !

EQUILIBRAGE

Le lest est composé de la quille et d'un poids de matériaux dit « *lest déposé* ». A sec, pendant la construction du bateau, mais pas avant les manipulations de retournement, etc., on place à peu près les quatre cinquièmes du lest déposé dans la quille. On garde un cinquième.

Ce solde de lest sera placé définitivement dans le bateau terminé et à flot ! Le bateau sera alors mis en charge, réservoirs pleins. Les charges peuvent être simulées par des amis (et amies), répartis dans le bateau et sur le pont.

Attention au mât qui est en avant du centre de gravité sur les bateaux modernes. Le bateau est réglé horizontalement grâce à ce 1/5e de lest non bloqué avant la mise à l'eau et qui sera réparti dans la quille en avant et/ou en arrière du réservoir. Eventuellement, on peut mettre un peu de lest dans les fonds en avant ou en arrière de la quille si cela s'avère nécessaire. C'est courant sur les bateaux de course.

Cet équilibre du bateau à flot, terminé, en charge, est très important pour ses bonnes qualités de navigabilité.

En effet, la plupart des bateaux modernes peuvent être construits selon plusieurs versions de ponts, de gréements, même de quilles, et aménagés de multiples façons à cockpit central ou arrière. Il n'y aura pas deux unités d'une même série à posséder le même centre de gravité. C'est le lest qui rétablit ce centre de gravité à l'aplomb du centre de carène qui, lui, est déterminé par l'architecte. Un bateau trop « *sur le nez* » risque d'être ardent et d'enfourner. Cela s'est vu dans le passé et il a suffi de deux ou trois unités mal équilibrées pour faire accuser une série d'être mal conçue ! Un bateau trop « *sur le cul* » *sera sans doute* « *mou* » et tanguera beaucoup !

Une cote mesurée à l'étrave et une autre au tableau arrière, si possible depuis un canot et non en marchant sur le pont, permettront de vérifier la bonne horizontabilité de l'unité que vous êtes en train de terminer. Chaque unité doit être équilibrée indépendamment et sans référence aux équilibrages pratiqués sur d'autres. Ceci bien sûr concerne des bateaux construits par leur propriétaire ou achetés en coque pontée et terminés en amateur. Cela ne concerne pas les bateaux vendus « *barre en main* ».

L'avant et l'arrière du bateau doivent être tenus aussi légers que possible. Doter son bateau d'une semelle de quille longue et très épaisse sous prétexte de lester le bateau par la même occasion, est une très mauvaise chose, qui conduit à des bateaux qui tanguent exagérément.

ENFONCEMENT

Le bateau doit être équilibré horizontalement par rapport à son Zéro de Référence. Certaines unités peuvent être plus lourdes que d'autres. Ce n'est pas trop grave à condition qu'elles soient horizontales et surtout qu'elles ne piquent pas du nez ! Pour une tonne de surcharge, on note les enfoncements suivants selon la longueur des bateaux :

Longueur du bateau en acier	Enfoncement pour 1 t de surcharge
8 m	7 cm
9 m	7 cm
10 m	6,5 cm
11 m	6 cm
12 m	5,5 cm
13 m	5 cm
14 m	3,5 cm
16 m	2,5 cm

Cet enfoncement n'est pas forcément dangereux. S'il n'améliore pas, bien sûr, la vitesse du bateau, il ne grève pas nécessairement les qualités d'un bon bateau. Ainsi, j'ai eu l'expérience du *Vagabond* qui pesait 9.000 kg en 1977. C'est un bateau de la série des *Chatam* qui normalement pèsent 4.660 kg à vide, 5.880 kg en charge, avec une coque pontée vide pesant 2.500 kg, une quille de 250 kg, et un lest déposé en plus du poids de quille de 1.100 kg.

Inutile de dire que l'enfoncement était de plus de 20 cm ! Le bateau surchargé de plus de 3 tonnes, soit de 50 % de son poids usuel, traversera l'hiver, aller-retour, l'Atlantique Nord, pour établir le long du Groënland le record de latitude jamais atteint par un voilier (presque 80 % de latitude Nord). Le bateau fut couché trois fois au retour et rentra sain et sauf, avec juste les ancrages de haubans sur le mât abîmés et un tangon tordu. Voilà qui plaide pour la solidité et la bonne navigabilité des petits bateaux en acier (9,55 m).

L'équilibrage du bateau, grâce à une partie de son lest, est donc bien plus important que sa légèreté, encore qu'il faille toujours construire sinon le plus léger possible, du moins sans ajouter de poids inutiles. *(Croquis D 86 et D 87).*

20

LE GOUVERNAIL

La majorité écrasante des bateaux en acier ont une vocation de croisière lointaine et de longue durée. La caractéristique principale d'un gouvernail pour ce type de bateau devra donc être la solidité. Si bien que certains types de dispositions sont exclus d'office.

Il existe trois types principaux de gouvernails :

- le gouvernail à safran suspendu
- le gouvernail à safran semi-suspendu
- le gouvernail à aiguillots et fémelots, aussi appelé gouvernail ou safran « *sur tableau* ».

Je vous décris ci-après chacun de ces types de gouvernails en m'attachant à détailler la construction du second et du troisième, car les safrans suspendus ne sont guère un choix prudent pour la haute mer en croisière !

GENERALITES SUR LA FABRICATION DE « L'APPAREIL A GOUVERNER »

L'appareil à gouverner se compose d'un grand nombre de pièces qui sont dans la coque pontée d'un voilier, de celles qui réclament le plus de précision et de rigueur.

D'une extrémité à l'autre de l'appareil, on note :

- la barre franche (obligatoire)
- le carré et l'articulation de barre franche
- la mèche
- le passage de pont
- le carré usiné pour le secteur de barre à roue s'il y en a une
- le secteur de barre à roue extérieur
- le secteur de barre à roue intérieur
- les systèmes de drosses et de réas de ces deux roues
- ces roues et leurs fixations
- la jaumière soudée à la coque
- **en haut de cette jaumière :** le presse-étoupe si la jaumière débouche à l'intérieur du bateau ; une bague si la jaumière débouche directement sur le pont ou dans le cockpit
- en bas de la jaumière : une bague
- à l'extérieur du bateau : le safran soudé à la mèche
- devant ce safran, dans la majorité des cas de la flotte de grande croisière : un aileron solidement raccordé au fond de la coque.
- **Reliant le pied du safran au pied de l'aileron :** la crapaudine.

On appelle donc appareil à gouverner l'ensemble des pièces composant ce qu'on nomme usuellement *« le gouvernail »*. Spécifiquement, ce que l'usage commun nomme gouvernail est le *« safran »*.

Cet ensemble doit faire l'objet d'un grand nombre de plans généraux et de détails dans une liasse de plans destinée aux constructeurs amateurs.

Chronologiquement

En toute logique, on commence par la coque du bateau. La quille et l'aileron de gouvernail se bâtissent à part, au sol, et sont mis en place sur la structure retournée. Puis on borde les tôles. On retourne la coque dessoudée du marbre. En parallèle avec le pontage (et le désir d'être abrité !), on pose les varangues dans le fond de la coque, on règle les cornières qui complètent la structure du bas des couples et porteront les planchers. On achève aussi de reprendre les efforts de l'aileron de gouvernail par des varangues et des goussets. En bas de l'aileron est soudée la partie fixe de la crapaudine.

Une fois le pont construit, on perce :

- le pont à l'endroit où sort la mèche
- la coque là où aboutit la jaumière.

Cette opération réclame beaucoup de précision, car la mèche doit être tout à fait parallèle au bord de fuite de l'aileron de gouvernail dans le plan antéro-postérieur (si la partie fixe de la crapaudine est déjà soudée), et rigoureusement verticale. Certes, on peut dire qu'un gouvernail légèrement *« gîté »* n'apportera pas de gêne. Mais faute de repère de la verticale, on risque fort de ne pas bien ligner les différents niveaux et le moindre défaut dans ce lignage provoquera une torsion de la mèche. Comme vous l'imaginez, la force humaine ne peut pas tordre une mèche en inox de 30 mm de diamètre, voire 60 ! C'est donc soit le blocage de la mèche, soit l'usinage des bagues avec un fort jeu, donc un manque de précision du système. Tout jeu dans le carré de barre franche, la fixation des secteurs de barre à roue, la tension des drosses, la fixation de la crapaudine, et c'est :

- d'abord un retard à la réponse du coup de barre
- ensuite un accroissement aussi inévitable que progressif de ce jeu
- ensuite une difficulté inouïe dans le réglage du conservateur d'allure
- enfin, une amplitude sans cesse augmentée des coups de barre avec la fatigue du barreur, celle du matériel jusqu'à rupture.

Pour ligner parfaitement le système, il faudra donc positionner le bateau rigoureusement vertical en utilisant un ou plusieurs petits vérins à pompe ou crics d'automobile ou de camion. Le lignage se fera comme pour le moteur, en accouplant tous les éléments touchant à la mèche. On accouplera les deux pièces de la crapaudine, fixera la jaumière à la coque, puis au niveau du pont. Un premier pointage sera suivi par une vérification par simple rotation de l'ensemble. A la main, en prenant le bord de fuite du safran, on doit tourner très facilement l'ensemble d'un bord sur l'autre pour décrire un angle total compris entre 70° et 80°. 80° d'angle total étant un large maximum pour un bateau de croisière.

On fabrique à part les éléments touchant à la mèche et dont je viens d'indiquer les précautions à observer pour un bon alignement. **A savoir :** la mèche avec ses usinages, le carré de barre franche, l'articulation de barre, la deuxième partie de crapaudine, la jaumière avec ses bagues et son presse-étoupe s'il en faut un, le safran lui-même. On pourra donc effectuer ces travaux dans le désordre en suivant les plans, pendant l'hiver, au chaud dans un atelier.

L'alignement se fait le plus tard possible, juste avant la peinture. Il se fait comme je l'ai décrit plus haut, en commençant par accoupler le pied de la mèche. Il se termine par le haut. Et pour que ce soit parfait, je vous préconise cette astuce : au niveau du pont, il y aura une petite collerette en acier, du même diamètre que la jaumière. Sur ce tube est pointé un disque d'inox qui vient en recouvrement sur le trou pratiqué dans le pont. Ce trou est d'un diamètre ample pour ne pas gêner le réglage de l'ensemble, au moment où on l'a accouplé par la jaumière et où on est en train de le ligner dans le plan vertical. Il est certain là aussi qu'une mèche verticale sera beaucoup plus facile à disposer qu'un ensemble incliné ! Peut-être est-ce un autre indice dans le choix de votre bateau si vous êtes sensible aux simplifications de construction.

Une fois l'ensemble bien ligné, la petite collerette supérieure étant pointée au disque formant doublante inox, on pointe ce disque sur pont. C'est alors que se fait la vérification. Si tout va bien on complète le pointage, puis on soude. Pour souder de l'inox sur de l'acier, on utilise des baguettes inox. Soit des baguettes 316 Mo, soit 316 Mo-Ti. Les premières sont au molybdène. Les secondes au molybdène et titane donnent un cordon plus fin, moins noir... plus cher ! On passive la pièce soudée avec de la pâte à passiver. On polira les pièces inox qu'on ne désire pas peindre. Non polie, une pièce inox *« rouille »*. On soude un maximum d'inox sur le pont, mais un minimum sous la flottaison. A part la crapaudine, on évite toute pièce d'inox soudée à la coque sous l'eau.

Les matériaux

Suite au chapitre précédent, j'ajoute que pour une coque en acier de type courant : E 241, E 242, E 261, E 262, E 36, l'aileron de gouvernail sera de la même nuance que la coque ; la jaumière sera en acier galvanisé, de même que la collerette supérieure. La crapaudine sera en inox au molybdène pour ses deux parties et sa visserie. La mèche sera soit en inox, soit en acier doux, soit en acier comprimé, soit en acier doux ou comprimé et galvanisé. Dans l'un comme l'autre matériau, la mèche sera sérieusement rectifiée et usinée, pour le carré de barre franche et les carrés des secteurs de barre à roue. Ce qui sous-entend que la galvanisation se fait après !

Mais s'il est vrai que l'acier nu se corrode peu sous l'eau, car l'oxygène y est plus rare que dans l'air, il est aussi vrai que seul l'inox donnera une propreté et une précision d'emploi stables dans le temps. Bien que cela occasionne une dépense supplémentaire, je conseille donc une mèche en inox molybdène.

Les bagues seront en Résipress ou autre matériau ne gonflant pas dans l'eau. On évitera le nylon justement pour cette raison. Les bagues émergées seront usinées avec un « jeu tournant ». Les bagues immergées seront usinées avec ce jeu tournant + % de gonflement. Bien que choisissant un matériau élaboré, il existe tout de même un léger gonflement proportionnel à l'épaisseur de la bague et dont le pourcentage sera à demander au fournisseur parmi lesquels je signale *« FBCG »* à *Mantes-la-Jolie*.

A noter que pour les bateaux devant

naviguer dans les eaux chaudes des zones inter-tropicales, ce gonflement est accru par la haute température de l'eau. Ce fait m'a été clairement signalé et peut aller jusqu'au blocage de la barre ! Il faudra donc s'en ouvrir au fournisseur pour se faire indiquer le jeu à respecter.

Les bagues hydrolubes (auto-lubrifiantes par l'eau de mer) sont d'une autre matière spécialement usinée pour les arbres d'hélice. A ne pas confondre.

En respectant cette liste de matériaux, on limite l'électrolyse car le contact entre l'inox et l'acier est limité à la crapaudine.

Les dessins joints montrent la disposition des différentes parties de l'appareil à gouverner. Une bonne standardisation limitera les dépenses. Il faut signaler que les fournisseurs d'acier imposent depuis quelque temps, des frais fixes pour la livraison de chaque format de tôles ou de profilés. Si bien que limiter le nombre de formats différents et standardiser les sections des profilés au sein d'un même modèle et d'une gamme de modèles, doit absolument devenir une préoccupation de premier plan à l'esprit des architectes dignes de ce nom. La survie des petits chantiers est à ce prix !

LE GOUVERNAIL SUR TABLEAU

Ce type de gouvernail fixé sur le tableau arrière du bateau a beaucoup d'adeptes, tant pour les petits bateaux de croisière côtière que pour de plus grands bateaux destinés à la croisière océanique.

On attribue à ce type de gouvernail les avantages d'être bien visible, contrôlable... et facile à remplacer. Ce dernier élément semble tout à fait usurpé si on pense remplacer facilement ce type de safran surtout en mer. A flot, en navigation, c'est rigoureusement impossible. A sec, ce n'est guère plus facile qu'avec un safran dont la mèche pénètre dans le bateau.

Par ailleurs, ce type de safran que j'aime bien mais cela n'empêche pas d'être lucide et conscient de ses défauts, ne facilite pas l'adoption d'un conservateur d'allure et les poses d'une barre à roue.

Le conservateur d'allure aérien devra en effet être déporté une cinquantaine de centimètres en arrière du bord de fuite du safran principal, donc environ 1 mètre en arrière du tableau arrière. Ceci implique l'adoption d'une queue de malet.

Pourquoi pas, d'ailleurs !

Quant à la barre à roue, elle sera raccordée au safran par un secteur et les drosses devront ou bien courir sur le pont, ou bien pénétrer dans le bateau. Ce montage sera en général assez complexe. De plus, un deuxième secteur pour barre à roue intérieure sera très difficile à mettre en place si on se propose, comme c'est logique, de le rendre débrayable. Et puis, il y a au-dessus de tout cela la barre franche obligatoire.

Un safran sur tableau sera parfait pour des bateaux jusqu'à 12 mètres maximum à cockpit arrière. Et on l'adoptera souvent pour des dériveurs si on a besoin d'opter pour un safran relevable.

De plus, pour un bateau en acier de 10 à 12 mètres, le safran reposera sur au moins trois aiguillots et fémelots... en inox d'ailleurs !

Et il n'est pas évident de bien ligner ces aiguillots et fémelots.

Lignage des aiguillots

Sur le tableau arrière et l'aileron vont être soudés ou bien trois fémelots (tubes) ou bien trois aiguillots tournés vers le haut.

Sur le safran vont être soudés ou boulonnés trois aiguillots tournés vers le bas ou trois fémelots.

On peut aussi trouver un bon montage de trois fémelots côté bateau, trois fémelots côté safran et un axe enfilé dans les six tubes. Les fémelots reposent les uns sur les autres par paire. C'est peut-être le moyen le plus simple car le plus facile à ligner.

Lignage des fémelots

Il faut se procurer un U ou une cornière en L de forte épaisseur. Par exemple, 60 à 80 mm de section et 6 à 8 mm d'épaisseur. Le tout en acier, en récupération, mais parfaitement droit et d'une longueur égale à la distance entre le haut du fémelot supérieur et le bas du fémelot inférieur.

Trois fémelots

Avec trois fémelots face à trois aiguillots, on pointe les trois fémelots sur le U ou les cornières. Le pointage est très léger pour ne pas chauffer le métal. C'est plus un collage qu'un soudage. Ces trois fémelots sont bien alignés si le support choisi est bien droit. Ils sont disposés sur le support en respectant parfaitement les intervalles prévus sur le plan.

Le support, avec les trois fémelots, est alors présenté contre le bateau, dans l'axe.

Les fémelots sont côté bateau.

Les fémelots sont pointés, cette fois très méticuleusement et progressivement pour ne pas tirer d'un côté ou de l'autre. D'éventuels goussets sont ajoutés.

En principe, les aiguillots et fémelots sont en inox. On aura choisi un inox en molybdène 18 × 10 ou 18 × 12 Mo. On utilisera donc des baguettes inox, 316 Mo ou 316 Mo-Ti.

Le support est dépointé et réutilisé pour présenter les aiguillots sur le safran. On procède de la même façon pour présenter trois aiguillots sur le bateau et trois fémelots sur le safran.

Six fémelots et une mèche

Dans ce cas, on peut monter les six aiguillots sur la mèche (sur l'axe) qui les relie et joue le rôle confié précédemment au U ou à la cornière. Trois fémelots sont pointés puis soudés sur le tableau et les trois autres sur le safran. Mais, pour des bateaux de 9 à 10 mètres, lorsque la mèche n'est pas d'un diamètre supérieur à 25 mm, on peut avec profit utiliser une cornière plus rigide, bien droite, pour présenter les fémelots.

Par ailleurs, il faut savoir que la mèche ne tourne pas inox sur inox dans les fémelots. Des bagues synthétiques se trouvent donc dans les fémelots. Il sera par conséquent impossible de chauffer les fémelots donc de les souder en laissant la mèche en place. Et difficile aussi de centrer la mèche dans les fémelots sans la présence de ces bagues. L'utilisation du U ou de la cornière est donc là aussi une très bonne solution.

Fabrication du safran sur tableau

Le safran a une forme assez simple en général. Il lui suffit d'être profilé en dessous de la flottaison et un bord d'attaque arrondi n'est même pas une obligation.

En contre-plaqué

Le safran est constitué d'autant d'épaisseurs de 10, 12, 15 ou 19 mm de contre-plaqué marine voire CTBX s'il est plastifié.

Pour plastifier le safran en contre-plaqué, il faut le regriffer pour améliorer l'accrochage mécanique. Avant le premier mat de verre qui sera choisi d'un grammage léger (120 à 300 grammes par mètre carré), on passe sur le bois griffé une résine fluidifiée par un solvant adéquat.

Les ferrures côté safran seront donc solidaires de pattes inox et boulonnées.

Pour bien faire coïncider les ferrures côté safran aux ferrures déjà soudées à la coque, on positionne les premières sur le safran, de façon légère. Puis on présente le safran ainsi équipé en enfilant les aiguillots dans les fémelots ou la mèche dans tous les fémelots. On fait tourner le safran de droite et de gauche. Quand tous ont pris leur place, on perce tous les trous de fixation et boulonne les ferrures en place. Le tout en position pour éviter le déplacement des ferrures du safran par rapport à celles « *du bateau* ».

En acier

Disons tout de suite qu'il n'y a pas d'intérêt à faire un safran en inox parce que peindre l'inox est une démarche assez différente de la peinture classique de l'acier.

Le safran sera donc fait dans la même nuance d'acier que le bateau. Sa structure sera en général un fer ou un tube d'attaque et des plats, en forme, transversaux. On borde un côté en le chenillant et le second côté par soudures en bouchon selon une technique que j'ai déjà exposée mais que je détaillerai bientôt.

Les ferrures sont soudées comme je l'ai décrit plutôt avec utilisation d'un support

en U ou L sur lequel sont pointés les éléments de la charnière côté coque et côté safran.

SAFRAN RELEVABLE POUR UN DERIVEUR

La vogue actuelle des dériveurs, et plus spécialement des dériveurs intégraux à fond plat, me pousse à vous proposer ici une analyse d'un montage de safran relevable, sur tableau arrière. **L'exemple que je vais vous détailler a la particularité de permettre toutes les fonctions du safran y compris les trois types de barres** : la barre franche obligatoire, la barre à roue principale, la barre à roue intérieure, celle-ci étant débrayable par le système Goïot.

Réserve

Auparavant, je signale que je considère que s'il existe des bons montages de safrans sur tableau, relevables pour dériveurs, il vaut encore mieux trouver une solution permettant d'installer un safran fixe soit sur le tableau arrière, soit sous voûte. Le tirant d'eau sera alors fonction de la profondeur de l'aileron précédant le safran. Et cette profondeur ne pourra guère être inférieure à 1 mètre. Elle sera par exemple de 0,90 mètre pour un bateau de 10 mètres et de 1,10 mètre pour un bateau de 12 mètres. Comme le point le plus bas est à l'arrière, le tirant d'eau est donc celui de l'aileron quand on passe au-dessus d'un point fixe, mais la pente naturelle des plages est telle qu'on se posera à plat sans aucun problème. Et de plus, la surface de l'aileron arrière sera très efficace pour stabiliser le bateau aux allures portantes, par exemple, dans le cas d'une fuite sous le vent. Après tout, on ne voit pas très bien la différence entre 0,80 m et 1,10 m de tirant d'eau quand on connaît le danger qu'il y a à faire du rase cailloux dérive relevée (saute de vent, échouage sur des pierrailles, etc.) avec un bateau de croisière au tonnage déjà imposant.

Safrans relevables

Voici divers types de safrans relevables.

En général, ils seront tous sur tableau sauf le cas du safran en puits qui ressemble à un safran sous voûte mais se rencontre très rarement.

Safran en puits

Un puits se situe sur l'arrière du bateau. Dans ce puits prend place un cadre relevable, coulissant vers le haut. Ce cadre porte deux bagues par où passe la mèche du safran. Ce safran est du type suspendu compensé ou pas. On trouvait ce système sur le *Tempest*. Bien entendu, il implique que dès qu'on le relève, ce safran devienne fixe latéralement et le bateau ne peut plus être barré.

Ce système a aussi été utilisé sur des trimarans de façon à permettre l'échouage du bateau pour caréner, etc.

Pelle et tête fixe

Pour de petits bateaux où la pelle du safran n'est ni d'une taille, ni d'un poids trop importants, on rencontre un montage simple fait d'une tête articulée contre le tableau par deux aiguillots. L'inconvénient est que la tête portant la pelle ne peut guère descendre trop près de la flottaison sous peine de créer trop de remous nuisibles éventuellement à la marche du bateau et à la solidité du système. On trouve ce système sur pas mal de petites unités jusqu'à 8 ou 9 mètres.

Ce système (n° 2) a comme inconvénient le bras de levier de la pelle par rapport à la charnière tenant la tête du gouvernail. Il permet cependant de prendre sur cette tête fixe dans le sens vertical, la barre franche et un secteur de barre à roue. Mais il ne permet pas de brancher un second secteur de barre intérieure.

Il sera cependant possible d'installer une barre intérieure permettant de barrer efficacement, confortablement et en toute sécurité, mais dans des conditions excluant de barrer par mauvais temps et mer forte. En effet, cette barre intérieure sera composée d'une roue et de deux câbles inox avec tendeur type skinautique.

Ces deux câbles sortent du bateau au niveau le plus haut possible dans les dossiers du cockpit et attaquent la barre franche de part et d'autre de l'axe. Pour des bateaux de 8 à 10 mètres, à safran sur le tableau, quillards ou dériveurs indifféremment, c'est un bon moyen de barre à l'abri du froid ou de la pluie dans des chenaux, canaux, plans d'eau protégés. Pour qui fréquenterait au moteur ou à la voile des Fjords ou des canaux (de Bretagne ou Patagonie !), ce n'est pas à négliger !

Pelle coulissant sur un axe

Ce système est assez courant sur des bateaux de 8 à 10 mètres, car il est simple et peu coûteux. On considère qu'il n'est pas prudent de naviguer, à la voile surtout, très près des roches, pour un dériveur encore plus que pour un quillard qui lui, au moins, ne talonnera que sur une partie non vitale, barrer safran relevé avec un maximum de confort n'est pas une préoccupation prioritaire. Disons qu'il faut pouvoir barrer sainement le bateau dérive et safran relevés, au portant à la voile ou au moteur. Sans plus ! Dans ce cas, on peut choisir ce type de safran qui se relève sur un axe vertical faisant office de mèche. La charnière n'est alors constituée côté coque comme côté safran que de fémelots. Ceux du safran sont au-dessus de ceux de la coque et l'espace entre eux est de la hauteur — au minimum — dont on veut relever le safran.

Dans ce cas, la barre franche remonte avec le safran et on ne peut pas installer de secteur de barre à roue. Mais selon le programme, même lointain, du bateau, le fait de ne pas posséder de barre à roue peut très bien n'être pas considéré comme une gêne ! Surtout pour des bateaux de 8 à 10 mètres.

Safran de Vagabond

Le programme spécial de ce bateau d'expéditions polaires impliquait à la fois un safran sur tableau (pour la première expédition), et deux barres à roue dont une débrayable avec système *Goïot*. Ce casse-tête a été résolu par une mèche usinée de deux façons selon le niveau et passant côté coque par des fémelots ronds et côté safran par des fémelots rectangulaires. Côté coque, les fémelots étaient bagués synthétique alors que côté safran on appuyait inox sur inox pour ne pas laisser de jeu parasite s'installer.

CONCEPTION DU SAFRAN

J'ai souvent entendu dire « *je désire un bateau à quille longue pour avoir une bonne stabilité de route* ». La stabilité de route dépend de beaucoup de facteurs dont :

- **le degré de voilure** : un bateau surtoilé gîtera trop, se vautrera sur son flanc, dérivera beaucoup et aura une route instable.
- La hauteur du mât pour les mêmes raisons, et sa « *quête* » arrière ou avant.
- La coupe des voiles et de la grand-voile particulièrement. Une grand-voile trop creuse, que le centre du mât ne peut récupérer, rendra le bateau gîtard et ardent. De même une grand-voile défoncée, déformée, pochée, d'un tissu trop léger.
- Un déséquilibre trop marqué dans la répartition des volumes de la carène, de la voûte et de l'étrave.

Et encore d'autres facteurs comme une longueur excessive de la barre.

Et c'est vrai, une quille trop petite, pas assez allongée. Mais le seul besoin de la posée réclame pour un bateau de croisière, une longueur de quille raisonnable. Quelle que soit la stabilité de route du bateau, pour le garder sur le cap choisi, il faudra un gouvernail efficace.

Proportions et profil du safran

Une bonne épaisseur est un gage de bon écoulement des filets d'eau, donc de bon rendement de la surface du safran. Mais quelle épaisseur ?

En fait, l'épaisseur et le profil dépendent de la vitesse envisagée. Pour un avion ou un bateau à moteur, on contrôle cette vitesse et on en décide. Un voilier de

10 mètres, naviguera aussi bien à 4 nœuds qu'à 12 nœuds. Une moyenne fréquente en croisière de longue durée est de 5 à 6 nœuds. A cette vitesse, le profil du safran et de son épaisseur n'ont qu'une importance relative. Il en va autrement du dessin du safran d'un multicoque qui va naviguer entre 5 et 25 nœuds avec des moyennes de 9 à 11 nœuds sur trente jours.

On trouvera plutôt dans le rapport hauteur-largeur, la source d'un bon rendement ou d'une barre dure.

Dans l'ensemble, je conseille de ne pas dessiner une largeur très supérieure à la moitié de la hauteur. Par exemple, 0,55 m de large pour 1,10 m de haut, avec par exemple, une fourchette de ± 10 cm pour la largeur. Un safran de 0,65 m de large pour 0,90 m de haut a toute chance de peser lourdement sur la barre surtout à *« grande vitesse »*.

L'épaisseur maximum peut se situer près de 10 % de la largeur du profil. *Dick Carter* a dessiné il y a quelques années des safrans de très forte épaisseur, allant jusqu'à 30 %, dans le but de constituer une terminaison efficace à des lignes d'eau de l'arrière en bustle. La jauge n'y était pas pour rien. Ces safrans décrochaient facilement.

La compensation ne semble pas devoir être supérieure à 10 % de la partie arrière. Dans l'ensemble, ces données sont valables pour des bateaux de croisière et sont directement liées à la vitesse du bateau. Plus un bateau va vite, plus son safran doit être profond, étroit et mince.

Bord de fuite

Un bord de fuite rond est la plus mauvaise solution, car les filets d'eau le contournent et se perturbent, créant une traînée négative importante. Un bord de fuite bien carré est parfaitement acceptable. Son épaisseur pouvant être de 1 à 2 cm pour un profil de safran de 5 à 7 cm de large.

Bord d'attaque

Pour un bateau de croisière, il ne serait pas très sage d'opter pour un safran non protégé d'un aileron. Si bien que le bord d'attaque du safran n'a guère d'importance. En général, ce sera simplement le tube de la mèche. Par ailleurs, on ne peut guère considérer l'ensemble aileron + safran comme un tout, lorsqu'il s'agit d'un bateau de croisière, naviguant à de faibles vitesses. Pour des raisons d'économie on opte en général pour un diamètre de tube d'attaque d'aileron identique au diamètre de la mèche du safran. Les faces de l'aileron sont ainsi planes, les renforts sont rectangulaires.

Sauf cas particulier, on n'a aucun intérêt à ne pas profiter de la mèche pour faire le bord d'attaque du safran.

J'en profite pour rappeler que l'aileron est compté dans la surface de dérive, mais pas le safran ! Toujours dans la conception d'un bateau destiné aux grandes croisières et traversées océaniques.

FABRICATION DU SAFRAN

Renforts, haut et bas

Sur la mèche, en inox au molybdène, rectifiée, bien calée et immobilisée, on positionne les renforts intérieurs ainsi que le haut et le bas du safran. Seuls le haut et le bas sont ajustés à la mèche et font toute la largeur du safran.

Les renforts sont coupés droit et ne vont pas jusqu'au bord de la fuite. D'abord parce que c'est inutile, ensuite pour simplifier le soudage du bord de fuite et éviter un nœud de deux soudures.

Le haut et le bas sont pointés sur la mèche. On soude l'acier sur l'inox avec des baguettes de la même nuance que l'inox : 316 L pour un inox 316 L. Le 316 est d'ailleurs à peu près la seule nuance universellement conseillable pour toute partie immergée. Le 304 étant réservé aux parties hors de l'eau, balcons, accastillage ou pont. J'y reviendrai prochainement.

Les renforts sont coupés droit. Ils sont soudés sur la mèche. Il faut bien veiller à leur alignement et surtout à l'alignement du haut et du bas pour ne pas vriller le safran.

Pointer d'abord, puis souder dessus et dessous le renfort. En général, pour éviter les déformations et donner de la rigidité au safran, les renforts sont en 4 voire 5 mm.

Le soudage

L'acier se soude sans problème sur l'inox et vice versa.

Par contre, le soudage des alliages d'aluminium les uns sur les autres, pose parfois des difficultés dont l'amateur ne saura en général pas se méfier, donc en contourner les écueils. C'est actuellement encore de la pure démagogie de conseiller l'aluminium aux constructeurs amateurs non spécialement initiés (chaudronniers, soudeurs professionnels...). Je m'inscris violemment en faux contre ce mouvement qui abuse du désir légitime de choisir un matériau dit *« sans entretien »*, par la construction amateur. C'est aussi l'avis des ingénieurs et techniciens du Centre technique de l'aluminium dont la volonté d'assainir le marché des coques en aluminium prend peu à peu corps et est en passe de donner naissance à un futur Label pour éviter que n'importe quel serrurier s'intitule chantier naval, construisant des bateaux en aluminium. Les errances de certains se sont conclues par des naufrages et la gangrène incurable de coques de toutes tailles. Encourager l'amateur sans l'avoir d'abord averti des risques, découle d'une totale irresponsabilité. Or, les risques ne sont pas là où on les place en général banalement, mais dans tout un ensemble de mesures qui ne sont pas toutes à la portée d'un artisan ou d'un amateur, même plein de bonne volonté. Il en sera bientôt fait mention dans Loisirs Nautiques !

Le bordage

Une première face du safran se borde très facilement. On découpe la tôle. On s'en sert pour tracer et découper la tôle qui constitue le second côté.

On pointe la tôle sur les renforts puis en haut et en bas (soudure acier) et le long de la mèche (soudure inox).

On chenille la tôle sur les renforts en quinconce dessus et dessous avec des points de 3 à 5 cm espacés de 10 cm environ. On y accède facilement par le côté ouvert. Le second côté ne peut être soudé par l'intérieur. On le présente sur ce qui est déjà fait du safran. On maintient la tôle pour qu'elle tienne en place, provisoirement. Puis, on repère exactement la position des renforts, à moins que cela puisse être fait avec précision par un plan bien coté. On pratique alors, soit des trous, soit des fentes, pour lier la tôle aux renforts par des bouchons. A la différence du premier côté chenillé dessus et dessous le renfort, en alternance, le second côté est soudé sur l'épaisseur des renforts. Le repérage doit donc être bien rigoureux. Les trous de 8 mm environ seront espacés de 3 à 5 cm. Mieux que les trous, les saignées de 3 cm de long seront espacées de 5 à 7 cm. Le remplissage par soudure ne pose guère de problème en acier.

Ensuite, la tôle de ce second côté est pointée et soudée sur sa périphérie avec la seconde tôle. On veillera à alterner les soudures pour éviter tout voile du safran.

LA MECHE

Passant du pont ou du fond de cockpit au fond de la coque entre deux points fixes en situation, puis descendant à la crapaudine pour un safran semi-suspendu, ou libre pour un safran suspendu, la mèche est un élément de continuité primordial entre l'impulsion donnée à la barre et la réponse du safran.

Le moindre jeu entraîne un retard qui ne cessera de s'accentuer jusqu'à la rupture.

La moindre souplesse de l'aileron et c'est la torsion et le blocage de la mèche.

Le moindre défaut d'usinage de la mèche et c'est le point dur, voire le risque de bloquer le safran.

Je vous ai dit que les bagues immergées qui assurent la douceur de rotation de la mèche dans la jaumière et la crapaudine, doivent être usinées avec un jeu tournant additionné d'un jeu de gonflement qui augmente avec la température de l'eau.

Pour que la barre reste douce, il faut que la mèche soit bien ronde et bien droite. L'aileron de gouvernail doit être solide, rigide et bien repris par des varan-

gues à l'intérieur de la coque, dans laquelle il doit pénétrer. L'aileron ne doit en effet pas seulement être soudé aux tôles de la voûte. Il doit bien entrer dans la coque et y être solidement assuré. Personnellement, je n'ai jamais eu à déplorer des pertes d'aileron.

Matériau

Sur des bateaux de course, il y a eu des essais de mèches mixtes réalisées en métal et en fibres synthétiques. Le nombre des ruptures écarte cette solution aussi légère que coûteuse pour des bateaux de croisière.

Pour les bateaux en acier, on optera pour une mèche en acier inoxydable.

Pour un bateau en aluminium, AG4 ou AG4,50 MC, on optera pour une mèche en AG5. Il arrive qu'on choisisse une mèche en acier doux ou en acier comprimé pour un bateau en acier. S'il est vrai que la corrosion n'en sera pas très rapide, contrairement à ce qu'on pourrait craindre, l'idée d'une mèche en acier doux ne me séduit guère.

On évite de souder de l'inox à l'acier sous la flottaison (alors qu'on en soude le plus possible sur le pont !). La mèche, elle, n'étant pas soudée, est isolée de la coque par les bagues synthétiques. Il n'y a donc pas d'électrolyse à redouter.

Calcul de diamètre

Le calcul du diamètre fait bien entendu, intervenir le matériau et les caractéristiques mécaniques qu'il possède. Interviennent aussi les dimensions du safran et la vitesse du bateau. Mais également sa stabilité de route ! La mèche est soumise à la torsion de la barre et du safran en sens contraires, mais surtout à la flexion à partir du point dur que constitue la sortie de coque, et dans la mesure où l'aileron de safran ne serait pas rigide. On en convient dans les calculs de mèche d'un bateau de croisière hauturière, de considérer le safran comme suspendu, donc sans le secours de l'aileron.

A titre indicatif, voici quelques diamètres que j'ai choisis :

8 à 9 mètres : diamètre 30 à 40 mm ; 9 à 10 mètres : diamètre 40 à 45 mm ; 10 à 11 mètres ou 12 mètres : diamètre 45 à 50 mm ; 14 à 16 mètres : diamètre 60 mm ; 20 mètres : diamètre 100 mm...

Ceci pour des mèches en inox et des bateaux de croisière visant à ne perdre ni leur gouvernail... ni autre chose !

Carré de barre franche

Le haut de la mèche est usiné de façon qu'une ferrure reliant la barre à la mèche entraîne cette mèche, et le safran, en rotation. La barre doit en général, pouvoir être relevée pour dégager le cockpit ou la plage arrière.

Cône

La ferrure de barre franche doit donc être solidaire de la mèche, soit par boulonnage, clavetage ou serrage. Un procédé est un cône dont le sommet est fileté. La mèche est usinée en cône mâle et la ferrure de barre en cône femelle.

L'inconvénient de ce système qui a cependant fait ses preuves, est que si le serrage est défectueux, la ferrure de barre est « *folle* » sur la mèche. Ce qui est déjà arrivé.

Carré

De même que, pour fixer les secteurs de barre à roue sur la mèche, on usine cette dernière, selon une section carrée en diagonale par rapport au sens de la marche, on peut opter pour cet usinage pour la ferrure de barre franche. Cet entraînement par quatre faces est très sain et très sûr.

Son inconvénient est un usinage assez complexe, donc coûteux. Pratiquement, il implique une ferrure de barre, soit venant de fonderie, soit usinée dans un bloc, ce qui est coûteux. Un simple vissage sur le dessus évite que la ferrure s'en aille.

Méplats

C'est en quelque sorte un carré simplifié, puisque cet usinage consiste à pratiquer sur le rond de la mèche deux méplats parallèles au sens de la marche. Le carré de barre peut être une pièce assemblée par soudage, ce qui la rend très facile à réaliser par l'amateur, et dans l'ensemble, fort économique.

Un axe inox avec deux goupilles évite que la ferrure sorte de la mèche.

Articulation de barre

En arrière de la mèche, on trouve un axe horizontal tout simple. La ferrure de barre franche solidarisée à la mèche à cet axe en commun avec deux joues ou un U renversé, auquel la barre est fixée et qui n'est pas solidaire de la mèche, la mèche et le safran. Tandis qu'en position relevée, on a basculé les joues de la barre sur la ferrure solidaire de la mèche. Ce qui découvre l'axe de solidarisation dans le cas d'un usinage de mèche du type « *méplat* ». C'est l'option que j'ai choisie pour mes bateaux. On peut la considérer comme la plus simple à réaliser pour l'amateur. Les échantillonnages sont déterminés par le constructeur ou l'architecte.

Carré de secteur de barre à roue

Cette fois, c'est une pièce de fonderie achetée dans le commerce qu'il va falloir fixer sur la mèche. La localisation des secteurs est en général au-dessus du presse-étoupe à l'intérieur du bateau, parfois sous le caillebotis de fond de cockpit. Cette solution, je l'ai employée pour des bateaux à cockpit arrière où on désire à la fois une barre franche de cockpit et une barre à roue dans le cockpit. La tête de la mèche dépasse du caillebotis pour fixation en utilisation permanente de la barre franche. Le reste du carré est au-dessous du caillebotis. Le secteur (ou les secteurs) est entre le caillebotis et le fond de cockpit, donc très accessible. Les drosses y circulent jusqu'à la colonne de barre à roue. L'ensemble étant dans le cockpit, est tout à fait étanche par rapport à l'intérieur du bateau. J'ai conçu ce système pour un voilier et il convient tant au quillard qu'au dériveur ! L'usinage du carré de barre à roue est en général en diagonale par rapport à la marche du bateau. Ses dimensions sont indiquées par le fournisseur du secteur. Le côté du carré sera voisin de 35 à 40 mm pour des bateaux de 10 à 12 mètres et des diamètres de mèche de 40 à 50 mm. Pour un autre voilier, le côté du carré mesure 38 mm. La hauteur d'un secteur est voisine de 60 mm. Pour ce bateau, on trouve par exemple un secteur de 370 mm de rayon, sur carré de 38 mm. Ce secteur n° 458 pèse 3,8 kg en aluminium, de fonderie.

Mèche en deux parties

Lorsque le bateau est posé au sol sur ses fonds pour un dériveur ou sur sa quille, il peut être difficile de sortir la mèche par le bas faute d'une hauteur suffisante. Il faut alors soit ôter la mèche et le safran à flot ou en creusant un trou : on pensera alors que couper la mèche en deux parties est une bonne idée.

Il faut également prévoir un système d'accouplement des deux parties.

● **Si la mèche est ronde** : ce pourra être un tube à cheval sur les deux portions, l'entraînement se faisant par des axes en inox de bon diamètre. L'effort de cisaillement n'est en fait pas très important, puisque la pression de l'eau sur le safran d'un voilier de 14 mètres ne dépasse pas la valeur de 150 m/kg. Elle est de la moitié pour un bateau de 9 à 10 mètres.

Pour une mèche de 50, on disposera quatre axes inox de 18 de diamètre, éventuellement en quinconce.

● **Si un carré est usiné** : (ou deux méplats, c'est plus simple) on dispose alors un manchon en tube rectangulaire ou en L assemblés par soudage, ou en tôles pliées assemblées et soudées. Le tout en inox de préférence. Dans ce cas, c'est la géométrie qui assure l'entraînement des deux sections de la mèche, deux clavettes ou deux axes maintenant le liaisonnement.

Ces deux types d'accouplements peuvent être faits sur une mèche déjà achevée, bateau fini, ayant même déjà navigué, à titre de perfectionnement. Ils se

situent en général à l'intérieur du bateau et concernent en général les bateaux à cockpit central, dont la mèche est plus longue puisqu'elle monte au niveau du pont. Dans ce cas, la longueur depuis le bas de la mèche, sous le safran, jusqu'au dessus du carré de barre franche peut atteindre 3 mètres.

On peut aussi, mais en général pour de grandes unités de type fifty, ainsi que pour nos dériveurs modernes à fond plat, désaccoupler la mèche du safran.

Accouplement mèche-safran

Combiné à une crapaudine boulonnée, c'est le système qui permet de sortir le safran en disposant de la plus petite hauteur : la sienne propre ! C'est donc un système appelé à se développer pour les dériveurs à fond plat de bonne taille dont le safran est lourd. Par exemple au-dessus de 12 mètres.

Deux types d'accouplement : vertical ou à disques.

Accouplement vertical

Ce type d'accouplement reprend le principe du manchonnage de la mèche par un tube épais en inox, de section ronde traversée par des axes ou des vis inox de fort diamètre. L'ordre de grandeur de l'effort de cisaillement n'est pas plus important. Cependant le système étant cette fois immergé et hors de la vue sous la voûte, il conviendra d'être prudent.

L'avantage de ce sytème sur le suivant est d'être plus esthétique, de déborder moins de chaque côté.

Son inconvénient est d'être assez haut et donc d'écarter le safran de la voûte d'une bonne vingtaine de centimètres. Ce qui contraint à découper le haut du safran pour ménager la place de ce rond qui peut d'ailleurs être en deux coquilles et rattraper le niveau de la voûte.

Accouplement à disques

Appelé aussi accouplement à brides, il se compose de deux disques soudés l'un à la partie supérieure de la mèche, l'autre au-dessus du safran. L'accouplement se fait par quatre à six boulons inox. Mécaniquement, il est très facile à exécuter et fonctionne très logiquement. Il déborde pas mal de part et d'autre de la mèche et de l'aileron et, de ce fait, provoque quelques remous. Le jeu en vaut largement la chandelle ! Les disques et les boulons seront en inox au molybdène. Quatre boulons de 10 pour une mèche de 40 feront l'affaire, par exemple.

Assez peu répandus ces systèmes de séparation en deux de la mèche, ou de séparation du safran peuvent rendre de grands services. Par exemple, celui de rendre le safran assez facile à remplacer dans le cas d'un accident qui le voilerait.

LE GOUVERNAIL A SAFRAN SEMI-SUSPENDU

Ce type de gouvernail étant unanimement reconnu comme le plus sûr pour un bateau destiné aux croisières lointaines, c'est celui dont je vous décris ci-après les détails de la construction.

Principe et bon fonctionnement

Un gouvernail, bien évidemment, sert à diriger le bateau. Il sert aussi à maintenir son cap d'une façon indépendante des sauts de vent et il peut se faire que pour un léger défaut de réglage du mât, un peu trop de creux de grand-voile, une assiette du bateau trop sur l'avant, un mauvais réglage de la dérive, une grand-voile insuffisamment réduite, le barreur soit contraint de toujours garder de la barre au vent pour combattre (aulofée) du bateau. La pelle du safran s'appuie en permanence sur l'eau et encaisse des efforts importants. De même sous pilote automatique et conservateur d'allure. Tandis que sur un bateau gardé à plat, correctement toilé et bien réglé, la barre se tient à deux doigts, l'écoulement de l'eau sur le safran reste laminaire et les efforts sont modérés. Pour aider le safran dans son travail, on le précède d'un aileron qui sert de plan anti-dérive arrière, le protège des objets immergés, orins, casiers, grumes, etc. C'est le safran semi-suspendu. En effet, le safran lui-même ne fait pas partie du plan de dérive et n'est pas calculé avec la surface de dérive !

Description du gouvernail à safran semi-suspendu

En haut de la mèche, dans le cockpit ou sur le pont, se trouve le carré de la barre franche obligatoire. C'est la retenue du safran. La mèche traverse le bateau dans un tube jaumière. S'il y a lieu un carré est usiné sur la mèche au-dessus du haut de la jaumière, pourvue d'un presse-étoupe. Ce carré reçoit le secteur de barre à roue de cockpit et le secteur de barre à roue intérieure s'il y en a une.

Sous le bateau, la mèche est solidaire du safran. En bas, elle est retenue, guidée par la crapaudine qui est sa retenue basse. La retenue haute porte l'ensemble. La retenue basse sert surtout à l'aileron qui précède le tout. La crapaudine peut aussi être conçue pour porter le gouvernail.

La mèche est guidée dans les tubes qu'elle traverse, au niveau du pont, de la jaumière, de la crapaudine, par des bagues en Téflon ou Ertalon ou Résipress. Eviter le nylon et prévoir un jeu tournant agrandi d'un jeu pour gonflement. Ce jeu est proportionnel à l'épaisseur et au diamètre, mais aussi à la température de l'eau. C'est le fournisseur du matériau qui vous indiquera ce pourcentage. Aujourd'hui, voyons la construction de l'aileron.

Coque, fer de quille

Lors de la construction, retournée, de la structure de la coque, vous ne vous occupez pas de la présence de l'aileron. S'il est trop long sous forme d'une grande nervure partant de la quille, vous positionnerez les renforts de l'aileron sur les couples de la coque, une fois que leur parfait alignement aura été confirmé par la pose des lisses, voire la présentation des premières tôles du bordé. Au moment de border, les tôles qui se trouvent au niveau de l'aileron, vous commencez la construction de celui-ci.

Le fer de quille n'est pas coupé ! Ce sont les renforts verticaux de l'aileron qui sont entaillés et enfilés sur le fer de quille. Veillez à la parfaite verticalité des renforts qui terminent l'arrière de l'aileron, si la mèche est verticale ou à son angle indiqué par l'architecte. Une mèche verticale est un gage de bonne neutralité de barre et de sa douceur.

Positionnement de l'aileron

Vous aurez relevé sur le plan, la position de l'axe de la mèche ou d'autres cotes qui servent à positionner l'aileron.

Vous pointez sur le fer de quille l'axe de la mèche. Puis le diamètre extérieur du tube jaumière. En principe, l'arrière de l'aileron lui est tangent. Vous coupez le fer de quille au ras de la face avant du renfort, qui constitue l'arrière de l'aileron, comme vous le montrent les dessins joints.

Puis de là vers l'avant, vous trouvez la position des autres renforts et du tube d'attaque de l'aileron s'il y en a un.

Le fer de quille est coupé depuis l'arrière du diamètre extérieur de la jaumière jusqu'à l'avant du dernier renfort de l'aileron. Il peut être nécessaire d'étayer les deux segments du fer de quille, par des profilés provisoires mis en place avant de couper le fer de quille bien sûr. Je vous déconseille de couper le fer de quille avant sa mise en place, parce qu'il vous serait très difficile de lui restituer son bon alignement. Lequel d'ailleurs précède la pose des lisses ! On le coupe au contraire le plus tard possible, après avoir bordé la plus grande partie du bateau, laissant juste à poser les tôles qui sont en contact avec l'aileron.

Fabrication de l'aileron

Les renforts et le tube de quille sont mis en place. Le tube jaumière peut l'être aussi. Un très grand soin doit être apporté à la verticalité de l'aileron et à son alignement sur l'axe longitudinal de la coque et de la quille.

Un léger (très léger !) dévers latéral n'est pas une catastrophe, mais un angle avec l'axe longitudinal du bateau, oui !

Un premier côté est bordé. La tôle est pointée par le côté ouvert sur les renforts intérieurs ainsi que sur le renfort arrière et sur le tube d'attaque. Le second côté est soudé par bouchons ou plutôt par « *boutonnières* ». Il est plus facile, en effet, de trancher des saignées dans la tôle au droit des renforts que d'y faire des trous ronds. Ces saignées sont faites au disque à tronçonner.

Le pied de l'aileron

Je déconseille toujours de souder de l'inox sous la flottaison, car l'inox actif est électropositif par rapport à l'acier. Passivé, il ne représente plus un danger. Mais peut-on être sûr qu'une bonne passivation aura toujours été faite ? Ici, il va falloir souder une plaque d'inox au bas de l'aileron.

Avant de border le second côté de l'aileron, la plaque épaisse qui en ferme le bas est mise en place. Elle est en général, traversée par une ferrure en inox. C'est d'elle dont je parlais plus haut. La plaque qui ferme le pied de l'aileron est en acier, de 6 à 10 mm selon la taille du bateau. La ferrure qui recevra la partie amovible de la crapaudine est en inox 18-10 Mo.

Une fois l'ensemble pointé, les deux côtés et le bas, on soude les tôles bordant l'aileron. Ce soudage chauffe le métal et risque de déformer l'aileron, de le vriller ou de l'incliner d'un côté ou de l'autre. Il faut donc, au préalable, pointer entre le pied de l'aileron et la structure de la coque, quelques jambes de force en cornière de récupération, des L ou T de 30 à 40 mm. Pour souder, il faudra travailler systématiquement. Ce sont des soudures montantes qui vont clore l'avant et l'arrière de l'aileron ainsi que le bas. D'un côté, la tôle a été pointée aux renforts par l'intérieur. De l'autre, les points sont faits à travers les boutonnières jusqu'à les remplir. Il faudra meuler consciencieusement tous ces cordons et les « *bouchons* ». En effet, un cordon non meulé ne renforce le travail que s'il n'a pas été fait avec une pénétration correcte. La première passe, si un cordon en nécessite plusieurs, peut être faite avec des baguettes de 2,5 mm de diamètre. Ensuite le remplissage peut se faire à la baguette de 3,2 mm. Pour un aileron, en général en tôle de 3 mm, des baguettes de 2,5 suffisent. Des cordons non meulés sont un accrochage parfait pour les algues. Ce qui oblige à gratter particulièrement ces zones qui finiront par ne jamais être bien peintes ! Lissez les cordons le mieux possible !

Crapaudine

Côté aileron Au bas de l'aileron on soude soit ne plaque d'inox, soit deux. Si une seule plaque est soudée, on lui fera souvent traverser le bas de l'aileron. Alors elle est reprise à l'intérieur sur les renforts et traverse le tube d'attaque, fendu en prévision de son insertion. Voyez les dessins qui montrent ces deux montages.

Partie amovible. Guidant le bas de la mèche on trouve en général une petite section de tube du même diamètre que la jaumière. Cette section est le plus souvent boulonnée à la partie fixe de la crapaudine par l'intermédiaire :

- d'une patte en inox s'il y en a deux du côté de l'aileron,
- de deux pattes en inox s'il y en a une du côté de l'aileron.

Je déconseille de ne boulonner les deux parties de la crapaudine que par une patte de chaque côté. Un certain jeu sera difficilement évitable et risque de conduire à la rupture de la partie fixe.

On trouve en général, pour assembler ces deux parties de la crapaudine, deux ou trois boulons à pans, en inox, d'un diamètre unitaire de 10 à 12 mm.

Une bague systématique aide à la bonne rotation de la mèche dans la crapaudine.

Crapaudine à bille

On peut choisir de faire porter le poids du gouvernail sur la crapaudine, plutôt que de le suspendre au carré de barre franche. Dans ce cas, il n'est pas mauvais de clore le bas du petit tube constituant la crapaudine par une plaque d'acier ou inox, percée d'un trou en son milieu. Ce trou sert aussi à centrer une bille d'inox de diamètre 10 à 14 mm sur laquelle porte le bas de la mèche, elle aussi en inox. Le bas de la mèche est usiné en cône inversé. Le gouvernail tourne alors sur cette bille qui lui apporte beaucoup de douceur... si, par ailleurs, les pièces sont parfaitement usinées et alignées !

Diamètre de la mèche

Le principe même du gouvernail semi-suspendu est de précéder un safran suspendu par un aileron qui encaisse des efforts, mais surtout sert de protection aux chocs et de plan anti-dérive. Si bien, qu'on convient de calculer la mèche sans tenir compte du secours de l'aileron. Ce diamètre est calculé selon son effort de flexion au sortir de la coque et les caractéristiques mécaniques de rupture de l'inox choisi. Un inox au molybdène conservera ses caractéristiques longtemps dans le temps. Avec les effets de cristallisation des alliages d'aluminium sans l'effet des efforts cycliques, on devra largement dimensionner une mèche en AG5 pour un bateau en « *aluminium* ».

La liaison aileron-coque

Je termine par ce point essentiel. On a vu se rompre des ailerons de gouvernail qui étaient simplement soudés sous la coque sans autre pénétration à l'intérieur de la mèche elle-même. On note d'ailleurs que dans ce cas, si l'aileron se tordait et cassait, en ouvrant une voie d'eau, en général la mèche ne se cassait pas si elle se tordait. Ce qui n'empêchait pas le gouvernail de se trouver bloqué ! Cette rupture n'arrive pas avec un aileron pénétrant dans la coque, repris à l'intérieur par des varangues. Ces varangues, éléments transversaux repris sur les fonds de la coque, sont larges pour reposer sur une grande surface de coque. Elles sont en tôles pliées ou en plats reliés par une cornière pour assurer leur rigidité.

Les varangues supportent les efforts de l'aileron au niveau de ses renforts, de son tube d'attaque et de la jaumière qui, en général, est renforcée par un jeu de goussets.

La Commission nationale de sécurité attache une très grande importance à la reprise par la coque des efforts de rupture latérale de l'aileron. Une série de bateaux connus, de construction amateur, avait tendance à voir ses ailerons s'éprendre de liberté. On ne saurait trop féliciter la Commission qui, là, joue très bien son rôle !

JAUMIERE, PRESSE-ETOUPE ET BAGUES

Le tube jaumière

Hormis le cas d'un safran sur le tableau arrière, la mèche pénètre dans le bateau par sa voûte, en avant ou en arrière de la flottaison. Le tube jaumière évite que l'eau pénètre à l'intérieur du bateau. Ce qui implique déjà qu'il remonte une bonne vingtaine de centimètres au-dessus de l'eau. Il faut d'ailleurs que l'architecte pense que, le bateau naviguant, la vague arrière se gonfle, remonte le long de la voûte, au-dessus du niveau statique de la flottaison. Attention aux fuites lorsque le bateau navigue. Eviter ces fuites sera justement le rôle du presse-étoupe.

Diverses configurations

La mèche, partant du bas et de sa pénétration dans le bateau, peut aller :

- des fonds au pont,
- des fonds au cockpit.

De plus, elle peut être équipée d'un secteur de barre à roue, ou seulement d'une barre franche.

Ainsi, trouve t-on plusieurs « cas de figures » :

A - Voûte à pont sans secteur de barre à roue, le plus simple.

B - Voûte à pont avec barre à roue, et barre franche puisqu'elle est obligatoire.

C - Voûte à cockpit sans secteur intérieur.

D - Voûte à cockpit avec secteur inté-

rieur par une ou deux barres à roue (c'est pareil) et barre franche.

A et C, la jaumière traverse le bateau sans interruption, de la coque au pont (A) ou de la coque au cockpit (C). La jaumière est soudée à la coque et au pont (ou au cockpit). On trouve une bague au niveau de la coque sous l'eau ou pouvant être souvent immergée, et une autre au niveau du pont ou du cockpit. C'est tout !

B et D : c'est plus compliqué à décrire et à construire. La jaumière est soudée à la coque, mais s'arrête au-dessus de la flottaison où elle est dotée d'un presse-étoupe. La mèche, elle, continue jusqu'au pont (B) ou jusqu'au cockpit (D). On trouve alors une seconde portion de tube analogue au tube jaumière, par le presse-étoupe, par une autre bague au niveau du pont ou du fond du cockpit. On voit tout de suite que A et C sont plus faciles à construire et notamment à aligner. Cela correspond seulement à un bateau doté d'une barre franche et d'un cockpit arrière en général. En tout cas, sans artimon, puisque gréer un bateau en ketch, interdit du même coup, d'amener une barre franche depuis la mèche jusqu'au cockpit central. La simplicité et l'économie vont de pair ! C'est souvent le cas ! B et C impliquent d'aligner deux tubes. On se servira de la mèche pour y arriver, et d'une astuce que j'ai mise au point.

Liaison coque-jaumière

La liaison du bas de la jaumière dont la solidité a l'importance que l'on imagine sur l'étanchéité des fonds !

Le plus facile, est de faire légèrement dépasser la jaumière du fond de la coque. En effet, la plupart des coques y présentent un V plus ou moins prononcé, et l'intersection du tube et du V est une double courbe, d'autant plus complexe que le tube n'est pas perpendiculaire au fond de la voûte. Il suffit de couper le tube jaumière droit, par exemple 5 mm en dessous du point le plus bas du fond, côté extérieur des tôles.

Le soudage sera aisé tant à l'extérieur qu'à l'intérieur.

En général, la jaumière sera soudée, en continu, sur les tôles et sur le fer de quille, et chenillée sur des équerres la reliant au fer de quille et transversalement, au bordé. La rigidité de cette zone permettra de garder une barre sans jeu, ni débattement latéral. Pour ménager les tôles autour de ce nœud de soudures, rigide, les reprises d'efforts transversaux doivent être largement réparties.

Liaison pont-jaumière

L'arrère du bateau subit peu les effets d'écartement que connaît la zone du mât. Cependant, la distance pont/coque varie pendant la navigation et tout ce qui relie le pont à la coque, doit être ou bien monté souple (les tuyaux de vidange de cockpit sont coupés et pourvus de section de caoutchouc souple) ou bien très solide. On pourra donc souder la jaumière au pont ou au cockpit avec adjonction d'une doublante, ou en profitant d'un croisement de renforts déjà prévus : lisses, barrots. Le tube jaumière (pour les cas A, B, C et D c'est finalement la même chose !) est coupé 5 mm au-dessus de l'extérieur de la tôle du pont. On peut réaliser le soudage par un cordon extérieur pénétrant bien et un chenillage intérieur pour relier la jaumière aux renforts qui s'y trouvent.

L'alignement

La jaumière, en une ou deux parties, selon qu'elle fait partie des cas A et C ou B et D, doit être exactement dans l'axe vertical du bateau. Dans ce plan vertical, elle est ensuite ou bien verticale ou bien inclinée selon les prescriptions de l'architecte de votre bateau. On considère qu'une mèche verticale donne une barre plus douce et plus précise, plus efficace. En tout cas, c'est plus facile à construire !

Vous vous aiderez d'un fil à plomb.

Il faut percer le pont et la coque. Selon les indications dont vous disposez au moment du formage et de la mise en place du fer de quille, vous avez laissé entier celui-ci ou il est déjà découpé.

Je déconseille tout à fait la mise en place de la jaumière (et du tube d'étambot où passe la ligne d'arbre du moteur) pendant la fabrication du fer de quille. C'est un bon moyen de donner du biais à tout cela ! C'est une méthode périmée !

Une astuce nouvelle pour aligner la jaumière

Voyez les dessins qui expliquent cette astuce. Côté voûte, vous découpez le fer de quille et les tôles pour juste y enfiler la jaumière. Par contre, au niveau du pont, vous prévoyez une découpe au moins du double du diamètre de la jaumière. Par exemple, pour une jaumière de 100 de diamètre, faites une découpe ronde de 200 de diamètre. Sur la jaumière, côté extérieur, vous enfilez un disque de tôle de 3 ou 4 mm, si possible en inox, découpé de 100 de diamètre pour la jaumière et 300 de diamètre à l'extérieur.

Vous avez donc un débattement de 5 cm sur la verticale pour trouver la juste position de votre jaumière. Lorsque vous avez trouvé la bonne hauteur, vous pointez le disque sur la jaumière. Lorsque vous avez trouvé l'aplomb, vous pointez le disque sur l'extérieur des tôles de pont. Puis vous soudez en veillant à inverser vos passes pour ne pas provoquer de déformations.

C'est une nouvelle méthode très souple d'emploi qui permet d'aligner vite et parfaitement une jaumière ou tout autre tube dans la même situation.

Je vous ai proposé une large marge de sécurité de 5 cm. Cette marge peut être ramenée à 2 cm si vous vous sentez sûr de vous et selon la facilité d'alignement.

Jaumière en deux parties

Pour les cas A et C, aligner la jaumière sur le plan vertical, l'angle voulu est facile, puisqu'elle est d'un seul tenant.

Lorsque ce tube est interrompu à l'intérieur du bateau pour la mise en place des secteurs de barres à roue, (cas B et D), c'est à peine plus difficile.

Il suffit d'enfiler sur la mèche en inox, les bagues synthétiques et les sections de tube. On procède comme décrit plus haut. Le pointage ne doit pas trop chauffer les tubes pour ne pas les abîmer ni abîmer les bagues. On gagne donc à fabriquer le safran après la mise en place de la jaumière.

La jaumière sera mise en place après le retournement du bateau et après le pontage, puisqu'elle est reprise à la fois sur la coque et le pont. C'est une autre raison pour laquelle le bateau doit être parfaitement calé sur la verticale et l'horizontale lorsqu'il est retourné à l'endroit !

Matériaux

Comme elle est soudée au pont, à la coque, qu'elle est peu accessible, la jaumière gagne à être en acier épais (le plus possible) et galvanisé. Si elle est soudée à la coque, bien au-dessus de la flottaison, elle peut être en inox. Il faut éviter de souder de l'inox sur l'acier sous la flottaison. Par contre, il faut en mettre le plus possible sur le pont ! Il y a un couple galvanique entre l'acier et l'inox immergés dans de l'eau de mer, au détriment de l'acier. Sur le pont, ce couple est inexistant, en tout cas jugé négligeable.

Donc, si le bas de la jaumière ne trempe pas en permanence dans l'eau de mer, pas de problème, optez pour l'inox.

Disposition des bagues

La mèche ne pourrait pas tourner directement dans la jaumière. C'est vrai d'une mèche en inox dans une jaumière en galva ou inox. C'est aussi vrai d'une mèche en AG5 dans une jaumière en AG4 MC pour un bateau en alliage d'aluminium. C'est également vrai pour les aiguillots en inox ou en AG5 dans les fémelots en galva, inox ou aluminium.

On enfonce donc, à force, des bagues synthétiques dans la jaumière. Voyez sur les dessins joints, la position de ces bagues et leur conformation, avec ou sans collerette pour les cas de figures énumérés A, B, C et D.

Ces bagues doivent être usinées, tournées dans des tubes de résine synthétiques.

Jeu et gonflement

On doit pouvoir tourner le gouvernail dans la jaumière, à sec, en le prenant par son bord de fuite.

Les bagues sont emmanchées à force dans la jaumière traitée et peinte, si elle n'est pas en inox. Si elle est en inox, les soudures auront été passivées à la pâte à passiver. Elles doivent être tournées avec, comme diamètre intérieur : diamètre de mèche + jeu tournant.

Ceci pour les bagues situées, même en navigation, hors de l'eau : celles qui sont au niveau du pont ou du cockpit et au niveau du presse-étoupe.

Pour les bagues qui sont immergées en permanence ou occasionnellement avec la vague arrière montant sous la voûte, on prend comme diamètre intérieur : diamètre mèche + jeu tournant + gonflement.

Ce gonflement est capital ! Il est fonction du diamètre extérieur, de l'épaisseur et de la nature des bagues. Il est également fonction et c'est important, de la température de l'eau, une eau chaude faisant gonfler la résine plus que l'eau froide. Ainsi, un bateau sous les tropiques doit avoir un jeu pour gonflement plus important qu'un bateau qui va en mer du Nord.

Le nylon gonfle trop pour être utilisé en bagues de mèche !

Le téflon serait idéal, si ce n'était son prix !

L'ertalon et le résipress sont un bon compromis.

Une barre déjà dure dans nos eaux et avec des bagues neuves, risque de se bloquer complètement en arrivant aux Antilles ! C'est déjà arrivé ! Un correspondant antillais m'a parlé d'un bateau allemand dont on a chassé la mèche à la presse. Une barre trop libre serait moins nuisible qu'une barre trop serrée. L'usure des bagues de résipress ou d'ertalon est très lente.

Le presse-étoupe

Rien à voir entre la fonction du presse-étoupe d'arbre de gouvernail et celle du presse-étoupe de barre (ou de mèche). Ce dernier n'a pour fonction que d'éviter qu'occasionnellement l'eau qui monte dans la jaumière ne déborde lorsque cette dernière est interrompue par la mise en place des secteurs de barres à roue.

Il y a plusieurs façons de le concevoir. Pour ma part, je le fais maintenant réaliser en bagues synthétiques. La bague supérieure est libre. La bague inférieure est bloquée par une vis. La bague supérieure est rapprochée de l'autre par quatre boulons inox de diamètre 5 à 6 mm qui portent sur une collerette inox. Entre les deux, de l'étoupe, une tresse, bourrée de bitume, graisse épaisse ou suif.

Notez l'usinage des rebords face à face des bagues pour repousser l'étoupe vers la mèche et éviter le passage de l'eau.

En principe, ces bagues ne sont qu'exceptionnellement dans l'eau. Elles sont donc usinées avec un jeu tournant. Le diamètre extérieur de la bague supérieure est un jeu plus petit pour ne pas résister trop au serrage.

Le serrage se fait sur une collerette d'inox qui pousse la bague synthétique supérieure vers le bas. Ce n'est pas d'une très grande nécessité. En tout cas, cette bague ne doit pas être en acier mais en matériau synthétique.

LA BARRE INTERIEURE

La barre franche est obligatoire pour les bateaux français. Pour des bateaux de plus de 10 mètres, spécialement à cockpit central, on peut choisir, en plus de cette barre franche, de s'équiper d'une barre à roue de cockpit, voire d'une barre à roue intérieure. **Disons tout de suite qu'il est illusoire de vouloir barrer depuis l'intérieur :**

- dans un bateau à roof long de moins de 40 cm de haut,
- par mauvais temps et forte mer au large,
- par mer arrière moyenne ou forte.

Par contre, on peut barrer de l'intérieur :

- sous la pluie ou dans le froid avec un vent faible et mer bonne,
- dans les chenaux et les canaux,
- si le roof possède des vitrages de plus de 30 cm de largeur,
- si le roof est court, et se rapproche d'un pavillon d'automobile.

Il n'est pas raisonnable d'espérer barrer de l'intérieur la tête dans une bulle. Une bulle sert surtout à la veille. L'homme de quart n'est pas obligé de sortir la tête du bateau pour surveiller les voiles, les feux à terre ou les feux des autres bateaux.

Pour barrer efficacement de l'intérieur, il faut disposer d'un petit roof haut de 40 cm au moins et court. Et il vaut mieux que le barreur soit près des vitrages du devant de ce roof qui doit aussi être bien aéré pour éliminer la buée, la fumée de cigarette... et éviter au barreur d'avoir le mal de mer.

Si donc on s'est équipé pour barrer de l'intérieur, il faut prévoir :

- un secteur de barre intérieur débrayable,
- un secteur à quatre gorges pour la barre à roue intérieure et la barre à roue extérieure, non débrayables l'une de l'autre,
- un tronçon de barre franche d'environ 0,50 mètre de long à l'intérieur du bateau.

En effet, on peut :

- avoir deux secteurs de barres à roue, le secteur de barre inférieure étant « fou » au-dessus du secteur principal et pouvant être solidarisé de ce dernier par un doigt commandé à distance par un câble et un ressort. C'est un système qu'on trouve chez Goïot. Il évite quand on barre de l'extérieur d'entraîner inutilement les câbles et la barre intérieure,
- n'avoir qu'un secteur, mais à quatre gorges, pour les deux drosses (câbles) de barre intérieure (droite et gauche) et les deux drosses de la barre extérieure (droite et gauche). Dans ce cas, les deux barres tournent ensemble. On peut prévoir sur une des drosses (ou les deux) de la barre intérieure, un ridoir permettant de détendre les câbles, voire de les désaccoupler.

Un tendeur est de toute façon nécessaire pour éviter le jeu. Pour une barre extérieure, on trouve en général un ridoir sur chaque drosse au niveau du secteur principal,

- éviter les secteurs, éventuellement coûteux, et s'équiper d'un petit bout de barre franche pour y brancher la barre à roue intérieure.

Ce cas est surtout celui des bateaux de moins de 12 mètres non pourvus de barre à roue mais où on souhaite avoir une barre intérieure abritée par la pluie et le froid. On a en haut de la mèche, sur le pont, la barre franche principale, puis, sous le pont, la seconde barre franche, plus courte et plus simple. A la limite, il n'est pas exclu de barrer directement de l'intérieur avec la seconde barre franche.

On peut aussi faire sortir les câbles dans le cockpit et les brancher sur la barre franche principale. Un tendeur et un ridoir éviteront tout jeu exagéré. C'est économique comme moyen de s'équiper d'une barre intérieure occasionnelle. Cela convient très bien pour des bateaux d'une dizaine de mètres et à tous ceux dont le budget supporterait mal l'achat d'une barre intérieure « *smart* » !

Dans le cas d'une barre franche entraînée par une barre à roue ou par la girouette du conservateur d'allure, on ne fixe pas les câbles sur la barre, directement, mais sur un tube glissant sur la barre franche et conservant à l'ensemble un périmètre de longueur constante. Par ailleurs, ce tube sera rapproché de la mèche pour rendre plus directs et sensibles les coups de barre. Il en sera éloigné pour rendre la barre plus démultipliée et douce si le vent forçit.

Barre franche et girouette

D'une part, la barre franche est obligatoire. On en a donc une. D'autre part, on peut posséder une barre à roue de cockpit et un conservateur d'allure (Atoms, etc.). Plutôt qu'amener les drosses de la girouette sur un tambour fixé à la roue, autant équiper son bateau d'un petit bout de barre franche demeurant à poste en permanence, d'environ 0,80 mètre de long. Sur ce bout de barre franche, on branchera les drosses de la girouette par l'intermédiaire d'un tube réglable en distance par rapport à la mèche. On peut aussi prévoir une crémaillère de réglage. Sensible et direct, mais dur, près de l'axe.

Démultiplié et doux loin de l'axe. Ce bout de barre franche peut être orienté comme on le veut vers l'avant, l'arrière ou sur le côté, pour ne pas gêner les manœuvres ou tenir compte de la présence d'un artimon ou d'un capot de pont, etc.

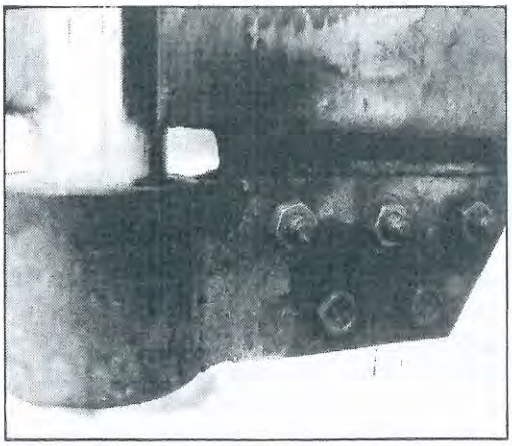
Débattement du safran

Pour qu'une réponse du safran à un coup de barre soit sensible, il suffit de pousser fort peu la barre. Par contre, au-delà d'un certain angle, le safran décroche, il ne fait plus tourner le bateau mais seulement le freine. Cet angle varie selon les bateaux mais est en général compris entre 70 et 80°. Vous souderez donc à l'intérieur du bateau deux butées limitant le débattement du secteur, ou d'un doigt fixé sur la mèche à 35 ou 40° de part et d'autre de l'axe longitudinal. Soit 70 à 80° en tout. On peut aussi souder sur l'aileron une fourchette limitant le débattement du safran. Voire souder sur le pont deux butées limitant la course de la barre franche.

Les drosses

Les drosses sont des câbles de commande reliant la barre à roue au secteur sur la mèche. Elles sont en inox pré-étiré,

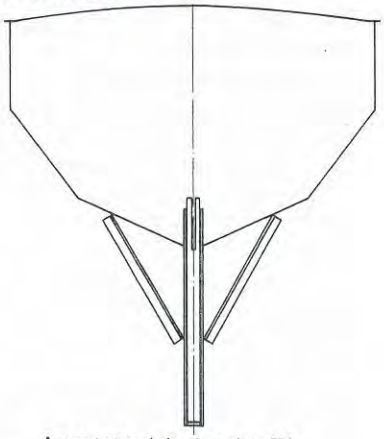




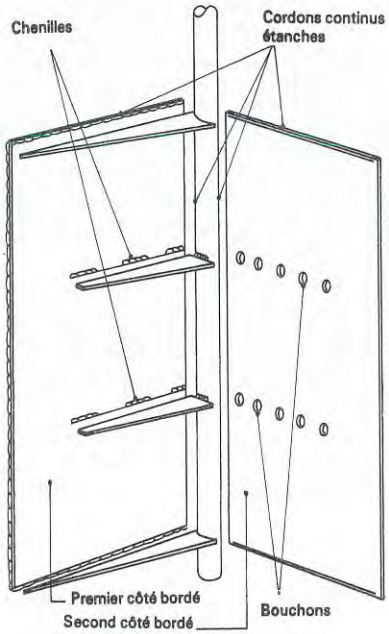
▲ **Photo D 33 :** *Crapaudine.*

◀ **Photo D 32 :** *Fémelot.*

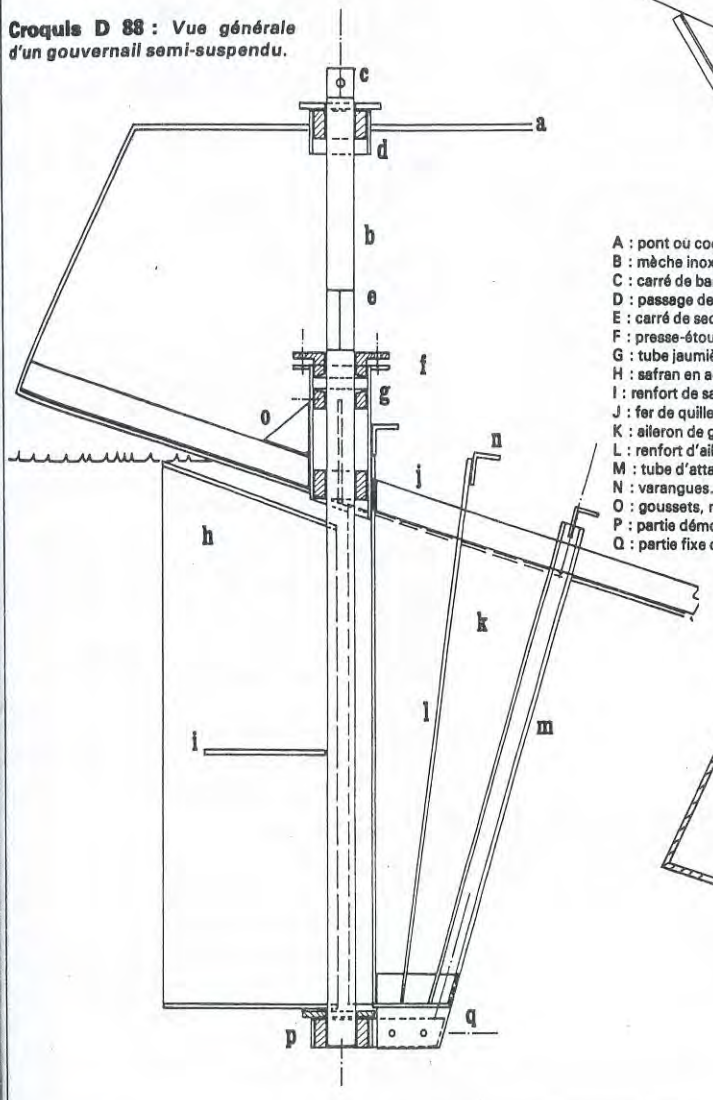
Croquis D 91 : ***Pendant qu'on le soude, l'aileron de gouvernail doit être bridé transversalement par des cornières, pour ne pas « déverser » sur le côté.***



Croquis D 89 : ***Séquences de soudage du safran.***

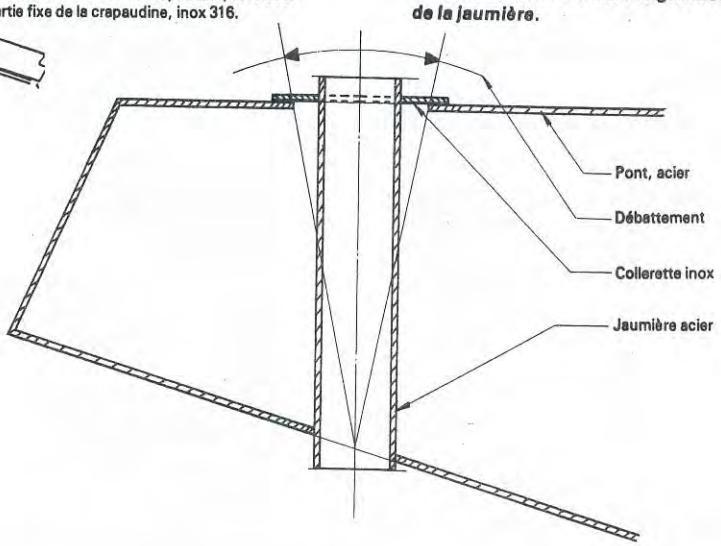


Croquis D 88 : ***Vue générale d'un gouvernail semi-suspendu.***



A : pont ou cockpit acier ou inox 304.
B : mèche inox 316.
C : carré de barre franche, usiné.
D : passage de pont et bague supérieure.
E : carré de secteurs de barre à roue, usiné.
F : presse-étoupe.
G : tube jaumière galva ou acier.
H : safran en acier.
I : renfort de safran, acier.
J : fer de quille.
K : aileron de gouvernail.
L : renfort d'aileron.
M : tube d'attaque de l'aileron.
N : varangues.
O : goussets, renforts.
P : partie démontable de la crapaudine, inox 316.
Q : partie fixe de la crapaudine, inox 316.

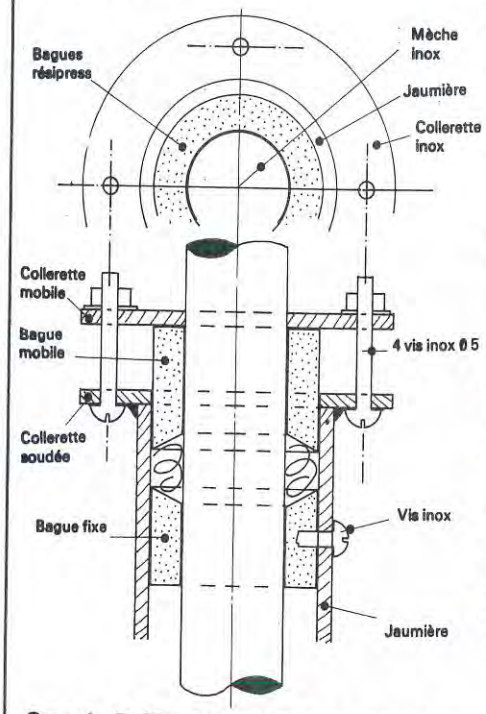
Croquis D 90 : ***Une collerette en chevauchement facilite l'alignement de la jaumière.***



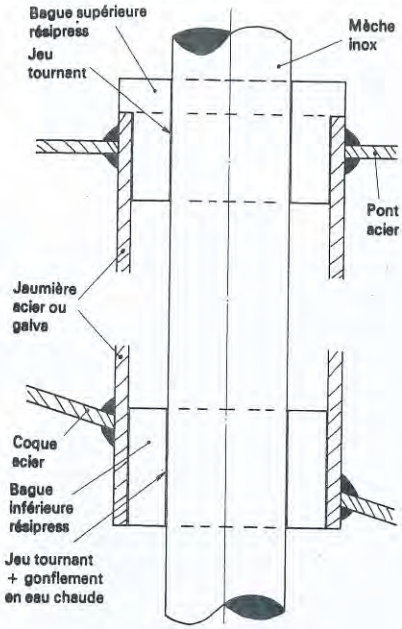
extra-souple. Leur diamètre sera de l'ordre de 5 mm pour un bateau de 10 mètres, et de 6 à 8 mm pour un bateau de 12 mètres. Diamètres généreux qui s'adressent à des bateaux de croisières transocéaniques qui ne rencontreront peut-être pas de si tôt, la possibilité de réapprovisionner de tels câbles ! Si leur charge de rupture est très supérieure théoriquement à ce dont on a besoin, il ne faut pas oublier qu'au passage des réas, les torons intérieurs sont moins sollicités que les torons extérieurs. Le câble ne travaille pas d'une façon homogène et on ne peut pas tenir compte de sa charge de rupture expérimentée, dans des conditions idéales en traction droite.

De nouveaux systèmes permettent d'ailleurs d'économiser les câbles. Il s'agit de passages de câbles normaux non pas entre des réas, mais dans des gaines lubrifiées dont les meilleures ont l'intérieur constitué d'un ressort en inox. Souvent les gaines permettent d'échapper à la nécessité de disposer des réas au droit du secteur ! Un jeu de butées de câbles est nécessaire. **Un conseil** : certes les drosses et leurs réas sont des éléments importants du bateau ! Mais je vous conseille de bâtir vos aménagements en tenant relativement peu compte du passage des drosses, gainées ou non. Sauf au niveau du secteur où leur tracé est forcément dans le plan du secteur et en ligne droite. **Faites vos aménagements jusqu'au stade de la finition. Alors disposez vos drosses de telle façon :**

- qu'elles soient facilement accessibles,
- qu'elles ne prennent pas trop de place dans les espaces de rangement : faites les passer près des panneaux de façade, plutôt que le long du bordé,
- qu'elles ne se mélangent pas avec ce qui sera dans les coffres et qui risquerait de les bloquer.



Croquis D 93 : *Presse-étoupe de mèche de gouvernail.*



Croquis D 92 : *Jaumière, bagues et mèche.*

Alors qu'en disposant d'abord les drosses, vous risquez de les voir passer en plein milieu d'un espace de rangement de ce fait inutilisable !

Veillez aussi à simplifier le trajet des drosses et à ouvrir les angles lors des changements de direction. Les deux drosses peuvent passer du même côté du bateau, pour se dédoubler au droit du secteur, l'une l'attaquant depuis le dernier réa double du côté des deux drosses, l'autre allant au côté opposé et revenant au secteur. Sur le secteur, on trouve en général deux tétons pour fixer un ridoir par câble.

Autant que possible, les réas seront boulonnés sur la structure. Mais il est possible de les fixer sur le cloisonnement en bois à condition que celui-ci soit solidement calé. Prévoir des épaisseurs de bois de l'ordre de 20 mm. Les réas seront boulonnés et non vissés. Les réas sont en aluminium ou en inox, montés sur une platine permettant plusieurs angles d'orientation. Il existe des réas doubles pour faire passer les deux câbles côte à côte.

Leur diamètre doit être le plus grand possible pour diminuer les risques de casser des torons de l'extérieur du câble et limiter les frottements. Prévoyez des diamètres de 100 à 150 mm.

Un exemple d'ensemble de barre

Voici, à titre d'exemple, ce que j'ai prévu sur un voilier et qui vaut pour la majorité des bateaux de 11,50 m à 13 mètres.

Option hydraulique avec barre à roue

Puissance : 100 m/kg.

Pistons : 5.

Nombre de tours théoriques : 4,3 tours bord sur bord.

Angle maximum du safran : 70° bord sur bord.

Par exemple, ceci correspond au MT 100 d'*Elite marine*. On trouve des systèmes équivalents chez *Seimi*, etc.

Barre franche

Voici les dimensions qu'on trouve sur un 11,98 m de ma conception :

Mèche inox diamètre 50 au molybdène.

Carré fixe en tête de mèche en inox Ep 10, goupille de blocage de cet axe, inox diamètre 14.

Tête pivotante de barre franche en inox Ep 10.

Axe de pivotement en inox diamètre 12.

Longueur de la barre franche : 1.150 mm.

Section maximum de la barre franche : 80 × 50 mm.

Option barre à roue à câbles

J'utilise ci-après des références *Goïot* mais on trouvera ce type de matériel chez *Elite marine, Platimo, Seimi, etc.*

Colonne de barre à roue n° 450.

Diamètre de colonne (aluminium) : 130 mm.

Hauteur de l'axe : 800 mm.

Roue extérieure diamètre 815 à 5 rayons n° 441.D avec blocage.

Chaîne de 900 mm. Pignon de 12 dents, diamètre 73.

Drosses inox extra-souple, diamètre 8 mm.

Secteur deux gorges n° 458 R : 370 mm.

Côté du carré : 38 mm.

Réas diamètre 120 mm.

Variante à câbles sous gaines

La taille de l'Ile Disko de 11,98 mètres, le place au maximum de l'utilisation possible de câbles sous gaines, selon certains fournisseurs. *Goïot* indique ce type d'équipement pour des bateaux jusqu'à 12 mètres et dont l'installation de drosses nécessiterait plus de 6 réas.

Même colonne, même roue. Câbles *Goïot* diamètre 6 à 8 mm. Deux supports d'embouts 440.85 à chaque extrémité des gaines.

Rayon minimum de courbure des gaines pour que la transmission reste douce : R = 350 mm.

Ne pas trop tendre les câbles. Les huiler à l'huile de vaseline et non pas à la graisse ou avec une huile épaisse.

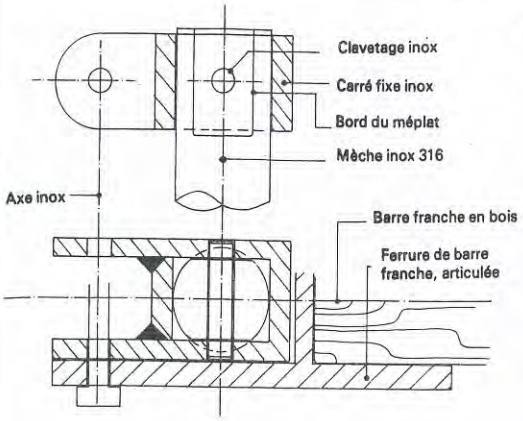
Barre intérieure

Roue *Goïot* à fixer sur cloison n° 441.X.

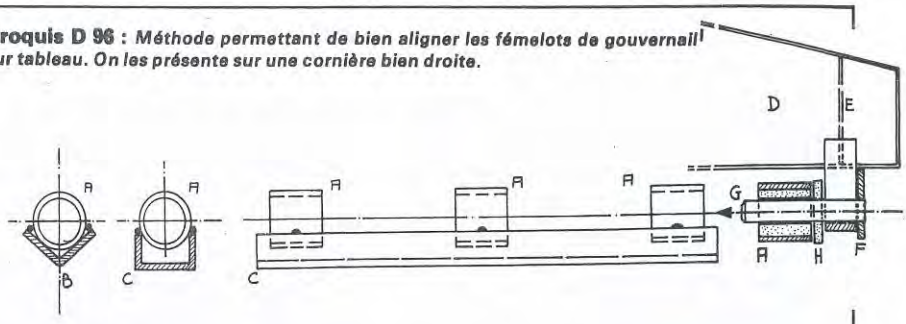
Diamètre 600 mm, 3 rayons.

Chaîne de 750 à 900 mm. Pignon de 12 dents, diamètre 73 mm. La chaîne est un modèle à rouleaux de 12,7 mm résistant à 3 tonnes de traction.

Secteur 458. Rayon = 370. Carré de 38 mm.

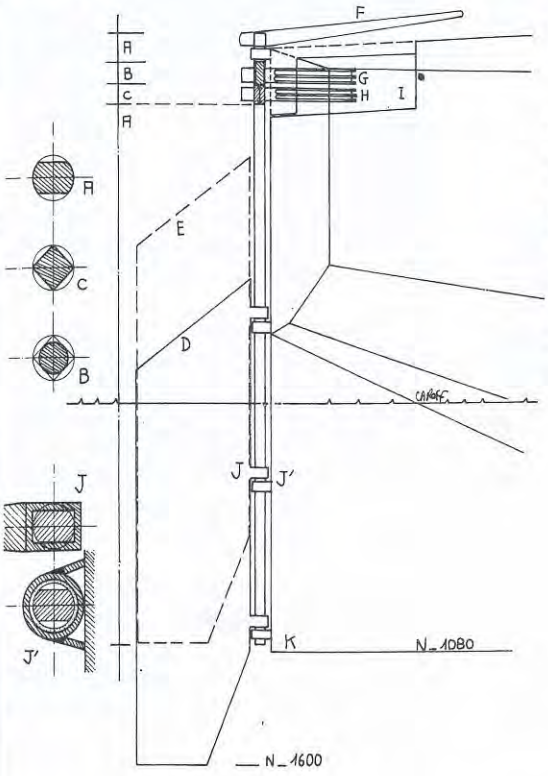


Croquis D 96 : *Méthode permettant de bien aligner les fémelots de gouvernail sur tableau. On les présente sur une cornière bien droite.*



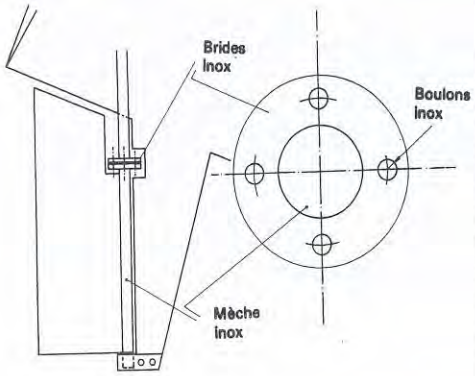
A : fémelots inox.
B : cornière en L, acier.
C : cornière en U, acier.
D : aileron de gouvernail, acier.
E : renfort au droit d'un aiguillot.
F : porte-aiguillot, inox 316.
G : aiguillot, inox 316.

Croquis D 94 :



Croquis D 97 : *Safran de « Vagabond'eux ».*

A : usinage d'un méplat pour la barre franche.
B : rond pour le secteur débrayable de barre à roue intérieure.
C : carré de secteur fixe de barre à roue de cockpit.
D : safran en position basse.
E : safran en position relevée.
F : barre franche.
G : secteur de barre intérieure.
H : secteur de barre de cockpit.
I : caisson logeant les secteurs.
J : fémelot du safran.
J' : fémelot côté bateau.
K : aileron/fausse quille nécessaire pour stabiliser un dériveur de grande taille.



Croquis D 95 : *Désaccouplement de mèche : système à brides, le plus simple à réaliser.*

Nombre de tours de barre à roue

Secteur de 370 mm.

Roue « D » avec pignon de 12 dents : 2,36 tours pour 84° de débattement.

Avec des câbles gainés il faut prévoir 30 à 50 % de démultiplication supplémentaires à cause des frictions en charge plus importantes. Par exemple, on optera pour un secteur de 430 mm au lieu de 370. Pour la barre intérieure sans changer le secteur de 370, on prendrait une barre du diamètre 800.

On augmente la démultiplication en augmentant le diamètre de la roue ou du secteur (sic. *Goïot*).

Deux safrans ?

Au début de ce chapitre, parlant d'un safran, je me disais que j'avais même poussé le masochisme jusqu'à doter le bateau que j'avais eu en 1977, *Spanielek*, de deux safrans ! Il s'agissait d'un petit 6,50 m qui termina 2e de la *Mini-Transat*. Ce bateau était barré par le Polonais *Jaworski*, 3e de *Tabarly* et *Birch* dans la *Transat* de 1976. *Jaworski*, architecte naval en Pologne, avait équipé son 35' *Spaniel* de deux safrans pour la *Transat 76*. Sur l'un et l'autre de ces bateaux on constatait une excellente stabilité de route aux allures portantes, l'eau étant canalisée entre les 2 safrans. Chaque safran était moins profond qu'un safran unique, moins fragile, car plus petit. Chacun avait une surface de 60 % d'un safran unique. L'inclinaison de chacun d'eux était d'environ 7° sur la verticale.

L'inconvénient est bien sûr une transmission supplémentaire et un coût plus élevé.

Notons qu'on trouvait en 1981 ce double safran sur le vainqueur de la *Mini-Transat* (3e édition), sur le bateau d'*Antoine*, construit chez *Meta*. Mais on trouve aussi ce système sur le *Batilus* (super tanker) et d'autres engins de ce type.

Avis aux... Amateurs ! Une telle option a des avantages, elle peut intéresser quelques-uns. Ce n'est tout de même pas le seul moyen d'obtenir la stabilité par vent portant ! Une simple bonne conception du bateau et une bonne répartition des centres de carène, de dérive et de voilure suffit à cela ! *(Photos D 32 et D 33. Croquis D 88 à D 97).*

21

LE RETOURNEMENT DE LA COQUE

Désormais, il ne se trouve à peu près plus personne pour penser qu'il est avantageux de construire la coque pontée *« debout sur sa quille »*.

Les bateaux sont construits à l'envers. Et il semble tout à fait confirmé qu'il n'est pas très efficace de construire la coque sur le pont fait à l'envers car il y a deux fois plus de barrots à construire. La première série pour donner la forme du pont. La seconde qui sert vraiment de structure et reste dans le bateau.

Si bien que le retournement est l'opération qui termine la construction renversée de la coque dotée de sa quille, de son tableau arrière et de l'aileron de gouvernail, mais sans son pont, ni ses varan-

gues, lesquelles sont placées après le retournement. La coque est donc relativement légère par rapport au bateau fini et le retournement n'est pas une opération difficile. Psychologiquement, elle est un moment important car elle marque la fin d'une étape longue et éprouvante, celle des débuts, de l'apprentissage et des tâches ingrates. Le tas de ferraille ne ressemble que peu à un bateau !

Pourvue de son pont, la coque devient voilier. La chrysalide devient papillon !

Une telle « *chrysalide* » de 9 à 10 mètres pèse environ 2.000 kg ; 2.700 kg pour 10 à 11 mètres ; 3.500 kg pour une douzaine de mètres ; 4.500 à 5.000 kg pour 14 mètres. On en déduit que le retournement n'est pas une opération si difficile qu'il y paraît. Il existe pour cela diverses solutions déjà maintes fois décrites dans les numéros mensuels et Hors Série de Loisirs Nautiques.

Je n'y reviens que pour les décrire superficiellement.

UN PORTIQUE

On peut lever la coque avec un seul portique placé au-dessus du centre de gravité de la coque. Pour les bateaux modernes, ce centre de gravité est souvent voisin du niveau de la flottaison, à 55 % de la longueur de flottaison à partir de l'avant de celle-ci. Le portique peut être en I.P.N. ou U.P.N. de 120 à 200 avec des étayages transversaux et longitudinaux de 100 ou 120. Ce portique a pu être construit pour mettre en place les tôles sur la structure. Il est bon qu'il puisse être déplacé sur des rails en H ou en U fixés au sol pour être mis là où les tôles doivent être levées et au-dessus du centre de gravité de la coque.

La largeur du portique devra être d'environ 150 % de la largeur du bateau. Par exemple, un Albion de 10,45 mètres mesure 3,60 mètres de large. La hauteur de la coque avec sa quille est voisine de 3 mètres. Un portique de 5 mètres de large conviendra.

Deux tire-fort sont fixés sur des pattes soudées aux montants verticaux ou aux entretoises soutenant la barre supérieure. L'un tirera et l'autre contrôlera le filage du mou et aidera à soutenir la charge. Pour un bateau de 10 mètres, deux tire-fort de 1.500 à 2.000 kg sont parfaits. Le câble ou la chaîne passe par le premier tire-fort, fait un tour autour de la coque et passe par le second tire-fort. On soulève d'abord le bateau avec les deux tire-fort. Puis, on embraque l'un en laissant aller le second et on fait tourner le bateau sur lui-même. On équilibre longitudinalement le bateau par des câbles ou des pneus retenant ou supportant le bateau du côté vers lequel il tend à pencher. C'est une méthode peu coûteuse et qui nécessite peu de place, car le bateau est viré sur lui-même.

DEUX PORTIQUES

Pour des bateaux de plus de 12 à 13 mètres ou des poids de coque de plus de 4 à 5 tonnes, il est préférable de disposer deux portiques au-dessus du bateau. Un à chaque tiers, un peu en arrière du premier tiers.

Chaque portique est constitué comme celui que je viens de décrire. On soulève le bateau après avoir dessoudé les points qui le rattachaient au marbre, en embraquant les quatre tire-fort à la fois. Puis, on reprend la chaîne par les deux tire-fort d'un côté en relâchant les deux autres. Le bateau est mieux porté que dans le premier exemple. Mais bien sûr, le système est plus complexe à construire. On soulève le bateau dans les deux cas pour lui permettre de tourner sur lui-même.

UNE CHEVRE

Deux I.P.N. de 120 à 160 sont soudés entre eux de façon à former un X décentré avec les deux petites branches en haut. Les deux grandes étant ancrées au sol. Ce X peut être entrecroisé pour sa solidité. Le seul but de l'X est de modifier l'angle d'un câble partant d'un tire-fort ancré au sol et allant à la coque, sur le côté opposé du bateau.

On embraque le tire-fort pour soulever le bateau. Cet effort est diminué en décollant le bateau du sol grâce à un cric hydraulique, pneumatique ou mécanique. Un tas de sable, des pneus ou des bottes de paille amortissent la retombée du bateau. Deux opérations sont nécessaires pour le placer depuis sa position à l'envers jusqu'à ce que sa quille touche le sol, puis pour le redresser verticalement sur sa quille. Avant que la quille ne touche le sol, on place sous elle un tas de pneus. On étaye le bateau au fur et à mesure qu'on ôte les pneus pour faire descendre la quille vers le sol. On peut aussi, de l'autre côté freiner la descente du bateau avec un second tire-fort.

Ce système est à peu près ce qui se fait de plus simple, mais il nécessite un espace supérieur à deux fois la largeur du bateau, ce dont on ne dispose pas toujours.

UNE GRUE

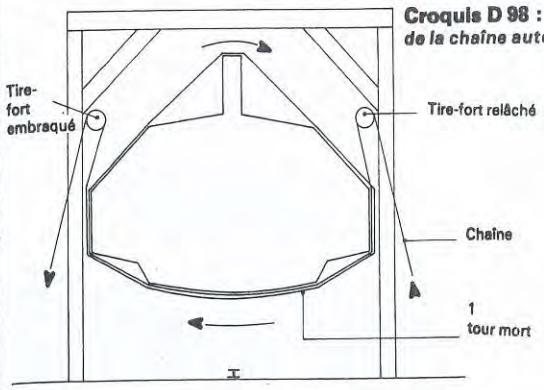
On peut aussi faire appel à un grutier. Pour éviter que la coque roule sur son maître-couple et écrase son bordé, on soude un cadre de quatre I.P.N. sur des barrots de pont. L'ensemble va reposer sur les I.P.N. parallèles à l'axe du bateau sans que le bordé touche le scl. Le câble de la grue soulève le bateau par son côté opposé. Un câble le retient par sa quille pour lui éviter de tomber au sol. La redescente au sol se fait par ce second câble filé progressivement. On repose le bateau au sol, sur son bordé et sa quille. On saisit un câble sur chaque côté du haut du bordé de la coque et relève ainsi le bateau. En commençant cette manœuvre, on dépose au sol le cadre d'I.P.N. qui avait servi à la première phase de retournement. Cette méthode est la plus rapide. Hélas, elle est aussi la plus coûteuse, et elle nécessite deux fois la largeur du bateau plus la place de la grue !

DES PRÉCAUTIONS

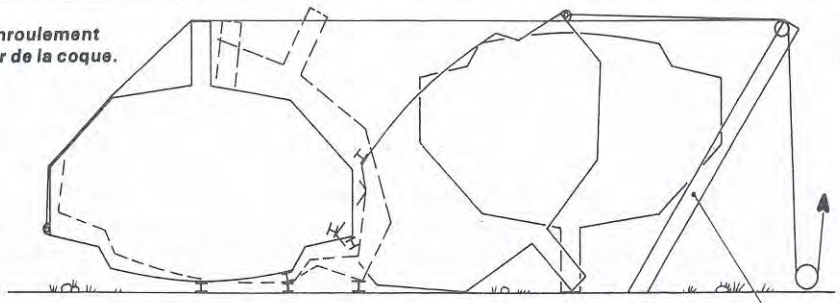
- Lorsque l'on doit faire rouler la coque sur le sol, il ne faut pas oublier que le pont n'étant pas en place, le haut du bordé n'est pas renforcé. Il faut donc le protéger par des planches fixées à la coque en haut du bordé, sur trois mètres au niveau du maître-couple.
- Il faut éviter de rayer le bordé surtout s'il est en tôle pré-peinte ou encore si la coque est construite en acier inoxydable 316 L.
- Des pattes sont soudées sur les portiques pour crocher les palans tire-fort ou sur la coque pour la retourner au moyen d'une grue ou d'une chèvre. Ces pattes seront faites de morceaux de lisses en 30 × 8, de barrots en 60 × 8, ou en T de 30 ou 40. Ils seront formés approximativement en « *anneaux* » ou en U et soudés en place.
- Les pattes soudées sur la coque seront avantageusement soudées sur les membrures ou les barrots et non pas sur les tôles de bordé. D'autres pattes peuvent être soudées sur la quille pour le grutage de celle-ci ou le retournement de la coque. Elles sont soudées sur la semelle plutôt que sur les côtés de la quille.
- Dans le cas d'utilisation de portiques, on évite le glissement de la chaîne formant un tour mort autour de la coque en soudant une butée de part et d'autre de la chaîne. La coque sera, dans ces cas, protégée des frottements de la chaîne soit par des planches soit par des matelas, du tissu ou des pneus. Très peu d'accidents ont été signalés lors de retournements. Un *Flot 18* était tombé au sol en 1975. Résultat, quelques bosses, suite à une rupture de câble. Une goélette s'était crevée sur un plot en béton après rupture d'un étai de bois destiné à la maintenir debout. Un Lex était tombé lors d'un grutage. Sa quille frappant le sol d'une hauteur de 4 mètres, y avait fait un trou de 30 cm. Rien du côté du bateau ! C'est solide l'acier !

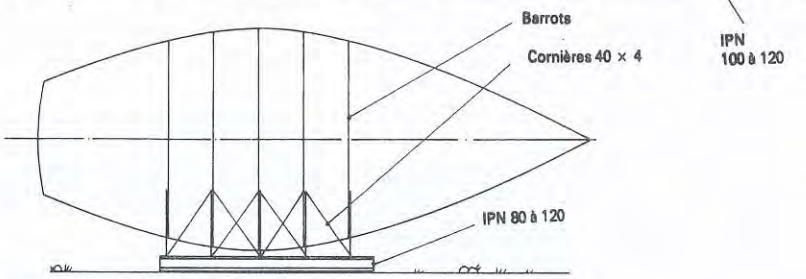
Revoyez aussi le chapitre sur les roues vireuses qui permettent d'effectuer en peu de temps le retournement du bateau.

Un moment crucial mais pas d'une grosse difficulté technique si le retournement est effectué avec prudence. Gare à vos pieds ! *(Photos D 34 à D 38. Croquis D 98 à D 100).*

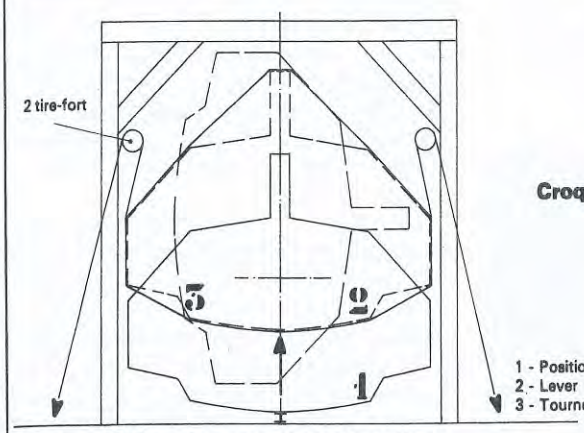


Croquis D 98 : *Enroulement de la chaîne autour de la coque.*





Croquis D 100 : *Retournement au moyen d'une chèvre.*



Croquis D 99 : *Retournement dans le portique*



Photo D 35 : *Retournement phase 2*

Photo D 36 : *Retournement. Phase 3*

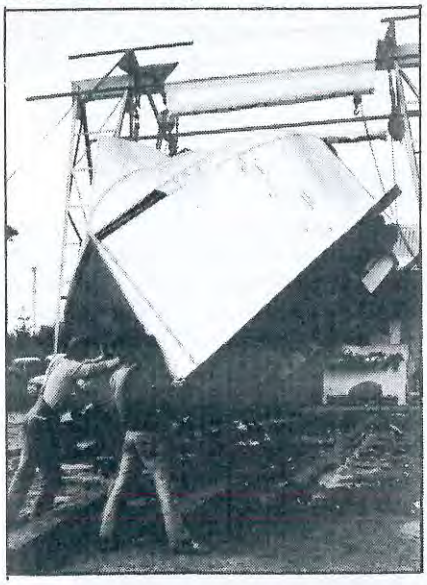


Photo D 37 : *Retournement. Phase 4.*

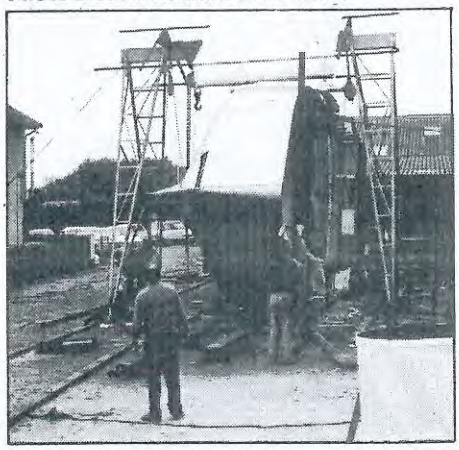


Photo D 38 : *Retournement. Phase 5.*



22

LA STRUCTURE DU PONT

Pour un bateau moderne « *sur lisses* » la structure du pont est composée de barrots et de lisses. Pour un bateau sur membrures, la structure est composée de barrots plus rapprochés.

Souvenez-vous, les membrures ont été entaillées d'encoches pour la mise en place des lisses de coque alors qu'elles étaient encore à plat, avant qu'on les dresse sur le marbre. Ceci pour plus de facilité. Les barrots sont des fers plats, en général, pour la construction amateur ou artisanale. Leur échantillonnage est souvent insuffisant pour qu'ils puissent être entaillés à plat avant montage. En tout cas, ils ne doivent jamais être entaillés avant leur formage, leur cintrage ou leur roulage.

LE PROFIL DU PONT

Au chapitre sur le tracé en vraie grandeur des couples, je vous ai décrit le tracé du pont en arc de cercle vrai (pont cylindrique) et par le procédé du « quart de nonante ». Cette méthode utilise la division en quatre parties égales d'un quart de cercle (nonante degrés, donc) bâti sur la hauteur du bouge de roof par rapport au livet. Ce procédé est bien plus lent, donc plus coûteux et plus fatigant. Si bien que de plus en plus se développent les bateaux dont le pont est cylindrique.

Le dessin des barrots de pont est fait en vraie grandeur avec le dessin des couples de la coque. Les barrots sont formés et présentés sur le tracé. On peut les former au maillet (pont en quart de nonante) ou au cric (quart de nonante) ou les faire rouler par un artisan (pont cylindrique). Les barrots d'un pont cylindrique peuvent aussi être cintrés au cric ou au maillet bien sûr ! Au maillet, on forme les fers dans leur plus grande longueur possible.

Après le retournement, les barrots, renforcés par des fers provisoires en cor-

nière L ou T de 30 ou 40, sont entaillés pour la mise en place des lisses. Lesquelles seront droites, si elle suivent l'axe d'un pont, cylindriques ou courbées dans les autres cas. Mais jamais, elles ne nécessitent un formage, elles se mettent en place facilement en grande longueur. Barrots et lisses touchent en général, les tôles de pont pour ne pas perdre de hauteur sous barrots. C'est encore la courbure naturelle des tôles du pont qui guidera la structure qu'on évite de brider trop tôt. Ce n'est jamais l'inverse. Il ne faut jamais avoir à forcer les tôles pour qu'elles touchent la structure, que ce soit sur le pont ou sur la coque.

Vue de l'intérieur, cette structure forme un quadrillage. Longitudinalement, les lisses ; transversalement, les barrots. On note que les barrots étant plus larges que les lisses, forment une saillie plus importante à l'intérieur du bateau. Aussi, toutes les découpes de capots, panneaux, dorades, descentes, devront-elles descendre sous le pont d'une largeur égale à celle des barrots et devront suivre la même courbure qu'eux. Sinon l'habillage sera très compliqué.

Les barrots sont percés, comme les membrures de trous qui permettront le vissage des tasseaux destinés à soutenir le vaigrage. Ce percement est fait à plat, au sol. De même, les entailles pour les lisses si la partie de barrot restant non entaillée est suffisante pour leur rigidité, ou, si les barrots sont renforcés de fers provisoires comme dit plus haut.

La structure du pont est complétée par :

- des goussets d'angle pont/coque, en général soudés au barrot et à la membrure dont ils maintiennent l'indéformabilité de l'angle. Parfois, ces goussets touchent aussi le bordé de coque ;
- des tirants sous les cadènes, fers de l'échantillonnage des barrots et triangulant l'angle barrot — membrure sous les cadènes. Ces tirants sont percés pour la fixation de tasseaux destinés à recevoir le vaigrage ;
- sous le cockpit et rejoignant la coque, il faut signaler des cornières de 30 à 50. Ces cornières portent le cockpit tandis que les tuyaux de vidange de cockpit sont, eux, interrompus au-dessus de la flottaison.

VÉRIFICATION DE L'ALIGNEMENT DES BARROTS

Depuis 1973, je dessine les ponts en évitant que les tôles aient une courbure dans le sens avant-arrière car il est bien évident qu'elles ont déjà une courbure transversale. Je signale d'ailleurs que le bouge de pont, le « *bombé* » du pont, est une nécessité absolue pour tendre les tôles et renforcer le pont. Pas question de faire un pont plat, ou à deux pentes en V sans du même coup, l'affaiblir et rendre inévitables de grandes déformations dans les tôles. Il est donc possible de poser une cornière bien droite dans l'axe du bateau sur les barrots pour en vérifier le bon alignement et voir si au cours du retournement, par exemple, l'un d'eux n'a pas été faussé. Ils ont d'ailleurs pu être étayés par des fers provisoires en L ou T évitant leur effondrement. Les entailles faites pour l'encastrement des lisses, les affaiblissent beaucoup. Ces fers d'étayage sont d'une grande nécessité. Ils peuvent épontiller les barrots entre le fer de quille et leur milieu.

En faisant glisser sur les barrots la règle en L ou T de 40 ou 50, on voit nettement, si un barrot doit être rectifié. *(Photos D 39 à D 40. Croquis D 101 à D 103).*

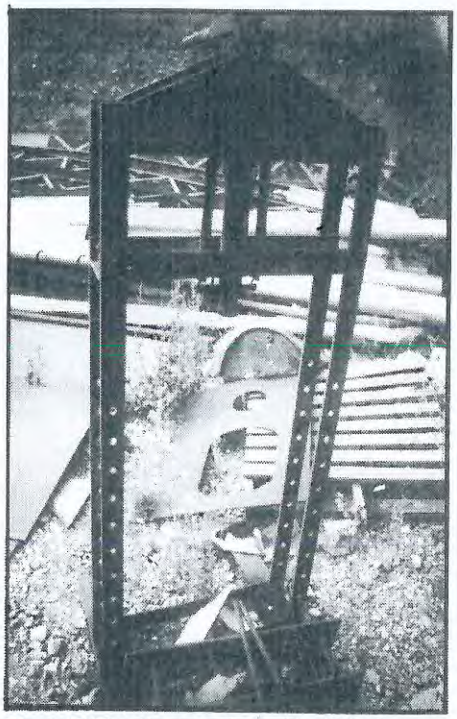


Photo D 39 : *Cintreuse de barrots de pont*

23

LE BORDAGE DU PONT

En général, on borde le pont et le roof, sans s'occuper des découpes qui y seront faites plus tard. Mais, une bonne technique consiste à border le pont et le roof sans souder les tôles. Celles-ci sont juste pointées pour ne pas se déplacer. Zone par zone, les découpes pour capots et panneaux aérateurs et autres éléments d'accastillage sont tracées. Puis, les tôles sont déposées au sol et les découpes sont faites à plat, dans de bonnes conditions. Enfin, les tôles sont remontées en place, pointées et soudées.

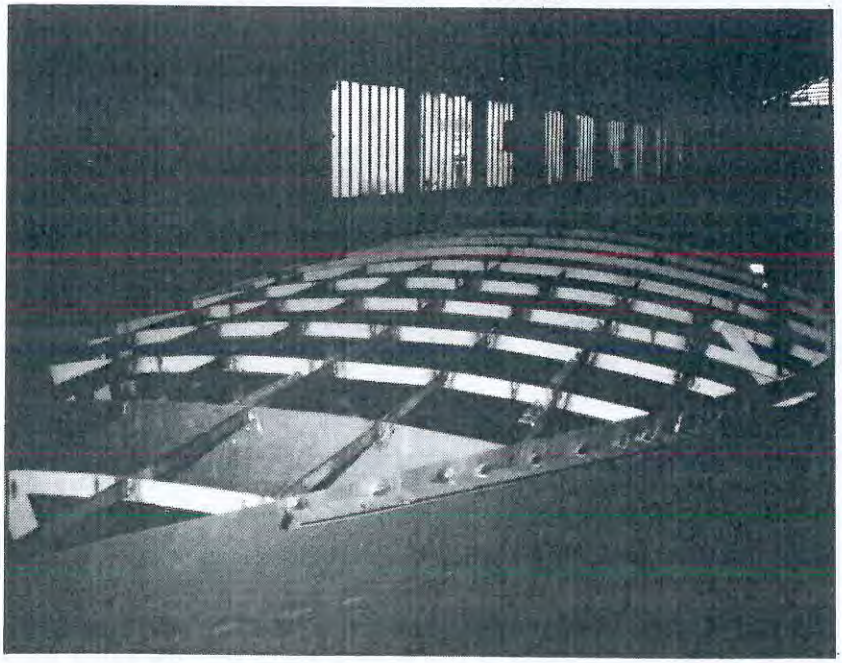
Les ponts de bateaux modernes ne nécessitent que rarement de contraindre beaucoup de tôles. Il n'y a guère eu que les ponts de « *Rêve d'Antilles* » dont il fallait charger les tôles de sacs de sable (ou de petites amies) pour qu'elles épousent leur double courbure. A ce titre, les ponts cylindriques ont été un progrès décisif.

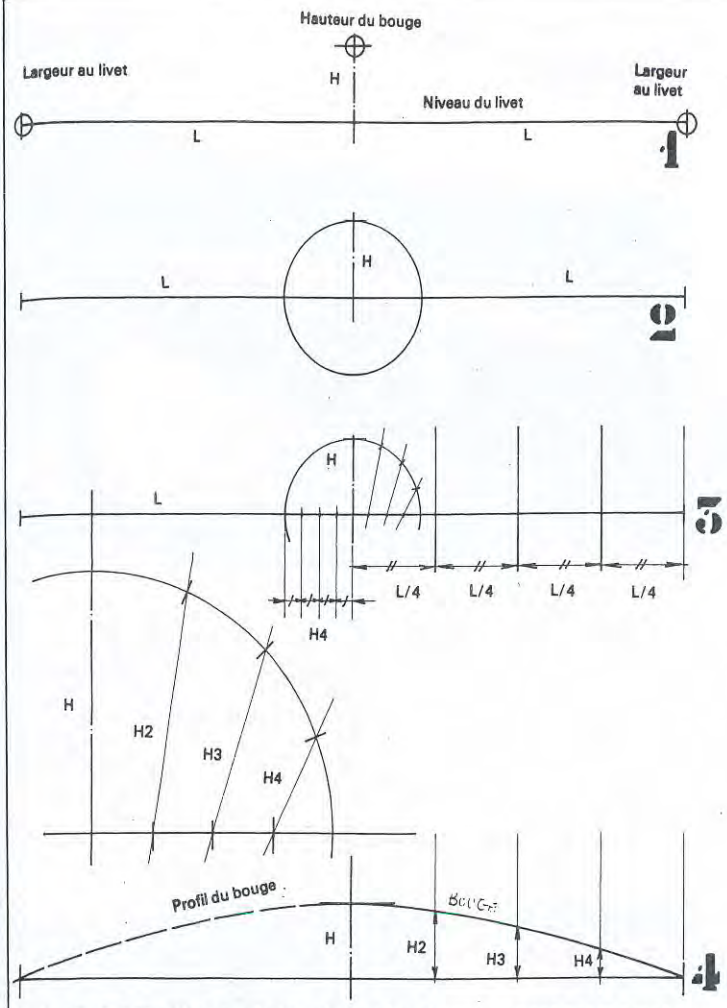
Les tôles prennent leur position de par leur propre poids. L'échantillonnage des tôles de pont dépasse rarement 3 mm. On peut indiquer 2,5 mm pour des bateaux de 7,50 à 9 mètres ; 3 mm de 9 à 18 mètres ; 4 mm au-dessus de 20 mètres.

UNE GOUTTIÈRE

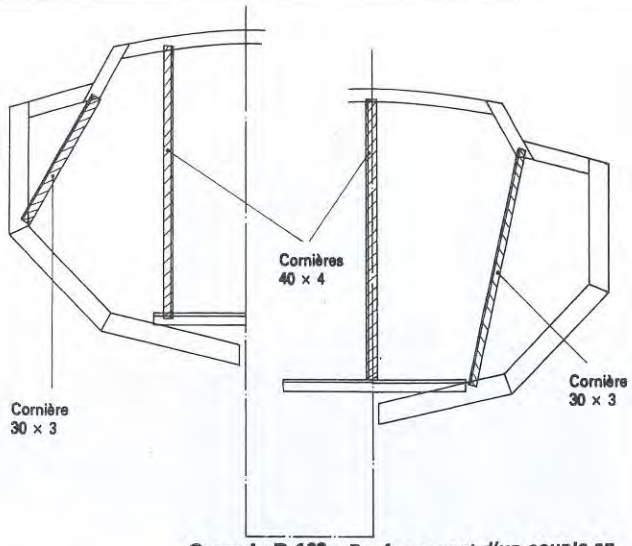
Pour les grands bateaux, de plus de 20 mètres ou de 25 mètres, on peut entourer le pont d'une bande de tôle de 4 à 6 mm. Cette bande d'une dizaine de cm, pas plus à cause des risques de corrosion par aéra-

Photo D 40 : ***Structure de pont. Notez le bouge constant en arc de cercle. A remarquer la cornière qui a servi à tenir et découper le haut du bordé.***

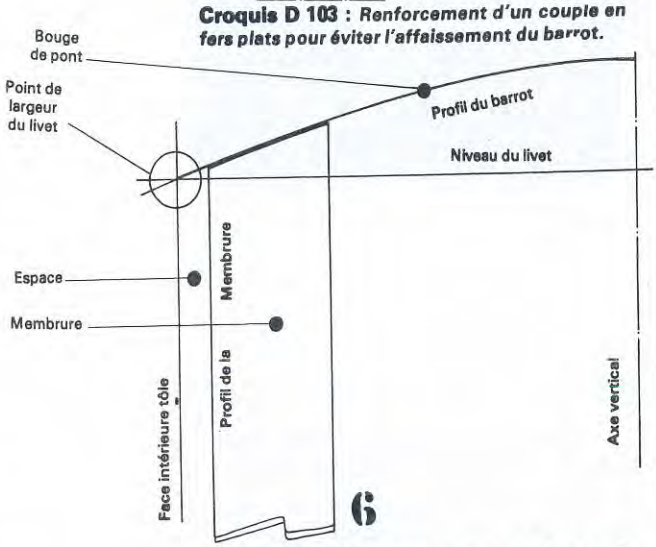




Croquis D 101 : ***Décomposition du tracé du bouge de pont par le procédé, maintenant assez rare, du quart de nonante.***



Croquis D 103 : ***Renforcement d'un couple en fers plats pour éviter l'affaissement du barrot.***



Croquis D 102 : ***détail du tracé de l'angle pont/coque.***

tion différentielle, assure la solidité de la liaison pont-coque. On l'appelle « *gouttière* ». A cette gouttière, on vient souder le pont proprement dit qui peut être en 3 ou 4 mm. La soudure se fait bord à bord, le long de la gouttière. Une gouttière de 3 à 4 mm peut aussi être soudée comme doublante.

CHRONOLOGIE DU BORDAGE

On commence le bordage des tôles du pont par la plage et les passavants, puis la plage arrière. Les tôles sont posées sur la structure. Si les tôles du bordé supérieur ont été découpées le long du livet, il suffit de reporter sur la face inférieure des tôles de pont, la trace du livet. On dépose ces tôles et on les découpe à la scie sauteuse, au disque à tronçonner ou à la grignoteuse à main. Si les tôles du haut de bordé dépassent au-dessus du pont pour constituer un pavois, qui à ce stade n'a pas encore été coupé, on possède deux moyens pour obtenir la découpe des tôles du pont. On peut mesurer la longueur des demi-barrots de l'axe aux tôles de pavois et reporter ces longueurs sur les tôles de pont en notant bien l'axe du bateau. On peut, plus facilement, je crois, positionner la tôle parallèlement à l'axe et, au compas ou avec une sorte de trusquin, reporter une couche parallèle à celle de l'angle du pont et du pavois. A l'avant du bateau, le bordé supérieur est évasé. Découper les tôles en les posant sur le dessus du pavois mènerait à une erreur. Par contre, en arrière du mât, le bordé est vertical ou presque, et le pavois n'est pas aussi haut. On peut alors poser les tôles de pont sur le dessus du pavois et en relever la courbe. Un ajustement reste possible ensuite, du côté de l'axe. On procède de la même façon du côté du bord inférieur du roof, le long des passavants. Je donne aux passavants une longueur constante car il suffit d'avoir obtenu la découpe du côté du livet pour déduire mètre en main, celle du bas du roof ! C'est tout de même plus facile.

En construction amateur, on borde en général la plage avant et les passavants puis le toit du roof, et ensuite, entre ces tôles, on trace les hiloires de roof sur des « patrons » en carton. En construction professionnelle, sur gabarit ou en moule de pont, on pose d'abord les tôles d'hiloires puis la structure des hiloires s'il y en a une. Les tôles descendent ainsi à l'intérieur du bateau jusqu'au niveau inférieur des barrots et simplifient la pose du vaigrage et de l'habillage du roof.

La découpe des tôles de toit de roof est très aisée. On reporte, sous les tôles, la trace des angles des barrots de roof. On joint ces points avec une latte de bois (10 à 15 × 10 à 20 mm) ou un T de 20 en acier. On trace et on découpe.

Avant de souder les tôles entre elles et de les cheniller à l'intérieur sur la structure, on peut déterminer les ouvertures à découper, les tracer et couper les tôles au sol ou sur la structure.

Les tôles de pont et de roof étant peu tendues, les déformations viennent vite. Il faut donc les pointer soigneusement, puis les souder en veillant à éviter de chauffer (irrégulièrement et trop) le métal. Le chenillage intérieur se fait « *au plafond* ». Le soudage extérieur se fait à plat, donc en bonne position, et en pénétrant bien pour éviter d'avoir à reprendre les soudures par l'intérieur sauf les cordons de l'angle pont-coque.

LA COURBE « VERTICALE » DU LIVET

Dans l'ensemble, le bordage du pont pose très peu de problèmes. On travaille « *en altitude* » mais à plat. Un constructeur amateur avait bordé le pont de son voilier de 12 m en deux week-ends vers 1975.

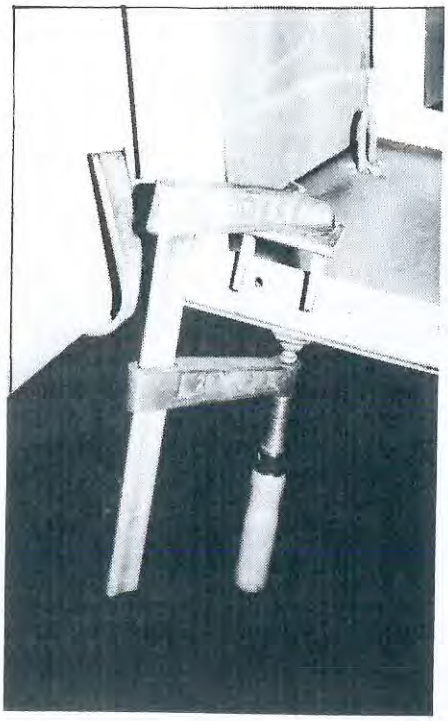


Photo D 41 : *Un serre-joint amène la tôle de pont contre le barrot.*

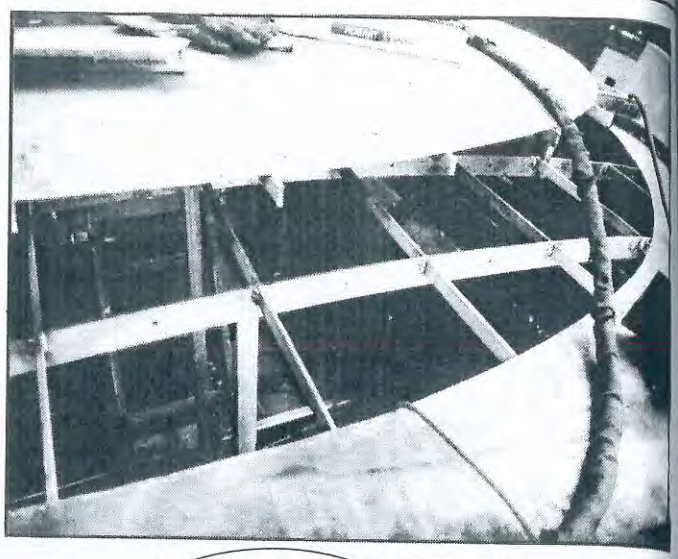
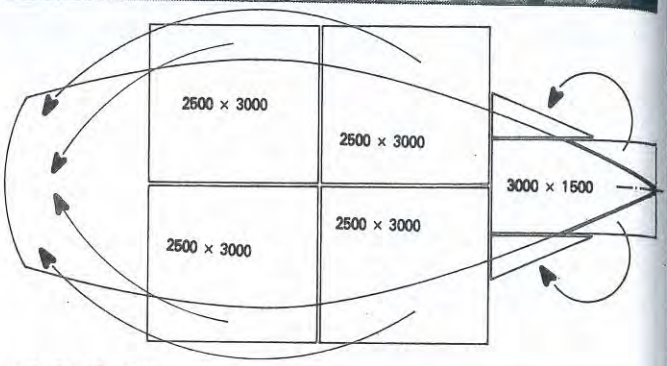


Photo D 42 : *Devant de roof. Les tôles de pont et de toit de roof sont posées puis découpées. Ensuite, on mettra en place les tôles de l'hiloire.*



Croquis D 105 : *Débit matière d'un pont d'Exploration (11,35 m) et réutilisation des « chutes » de tôles. Il s'agit d'acier E.24 ou E.26 en 3 mm.*

Sauf autorisation spéciale de la direction Loisirs Nautiques, nous rappelons à nos lecteurs que la reproduction même partielle de ce Hors série est strictement interdite pour tous pays. Photocopies comprises.

© Loisirs Nautiques Hors Série n° 16 1983

Le dessin du bouge de pont implique cependant quelques remarques :

● Si le bateau est dessiné avec un livet droit horizontal ou montant, les tôles de coque sont coupées droit avec une cornière servant de guide de tracé et de découpe. Dans ce cas le bouge du pont est différent à chaque barrot et les tôles de pont sont soudées le long du livet sans autre nécessité de correction. De même, si le livet est dessiné arbitrairement dans le plan horizontal (pourtour du bateau vu du dessus) et dans le plan vertical (ligne de l'angle pont-coque vue de profil) ;

● Si le pont est un arc de cercle ou est dessiné au quart de nonante avec une ligne de bouge horizontale, le livet est l'intersection de la surface de *« révolution »* régulière ou non, du pont avec le bordé. Dans ce cas, la courbure de l'angle pont-coque est arbitraire, vue du dessus, mais géométriquement déduite, vue de profil.

Or on s'aperçoit que cette ligne, joliment creuse dans la moitié centrale du bateau, se tend en remontant vers l'arrière, tout en restant élégante, mais s'infléchit de nouveau vers le bas en arrivant vers l'étrave. Tout simplement parce qu'elle tend à tangenter avec la ligne droite et horizontale du bouge de pont. Si cette ligne lui plaît, l'amateur peut la laisser telle quelle. Si elle ne lui plaît pas, l'amateur peut la masquer par le pavois.

Le pavois est la tôle du haut du bordé qui dépasse naturellement au-dessus du pont.

A l'aide d'une cornière, on peut déterminer une courbure arbitraire élégante au profil de ce pavois. Voyez en complément d'information, le chapitre sur le pavois. *(Photos D 41 et D 42. Croquis D 104 à D 108).*

24

LE PAVOIS

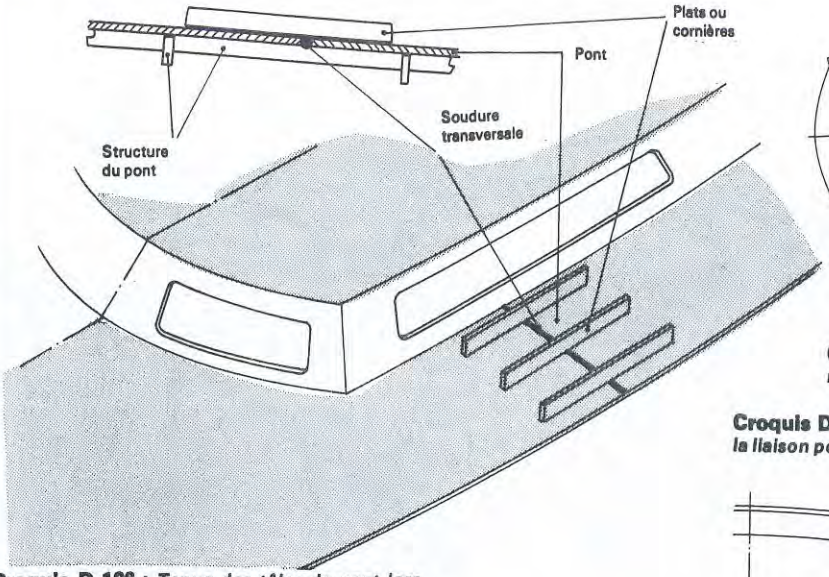
VRAI PAVOIS

Le pavois est le prolongement naturel du haut du bordé, au-dessus du niveau du livet. Un pavois permet de pratiquer tout autour du bateau un cale-pied efficace et apporte un franc-bord supérieur éventuellement utile dans une mer courte et creuse.

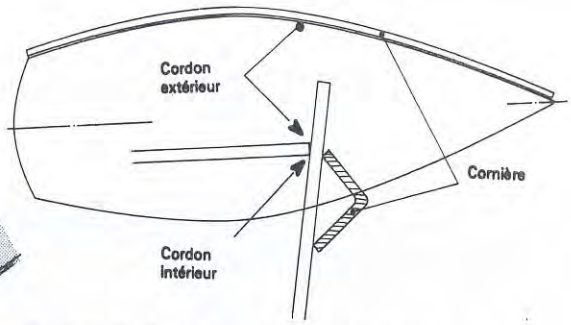
On laisse filer les tôles du bordé supérieur au-delà de la limite du livet, lorsque la coque est fabriquée à l'envers.

Après le retournement et une fois le pontage fait, vous pouvez couper les tôles du pavois. Pour cela, vous faites filer une cornière de 30 pointée contre le pavois et dont vous jugerez, de profil, qu'elle donne une courbure élégante. Vous pouvez couper les tôles le long de la cornière.

Laisser ainsi le haut du pavois mènera à le tordre à la première occasion et les ragages y feront vite apparaître des traces de rouille. Il est donc impératif de lui souder une protection en rond plein d'inox de diamètre 10 à 14 mm et de nuance 304 ou 316. Ce rond ne doit pas être soudé sur le côté du pavois, comme je l'ai vu écrit, mais absolument sur le dessus ! L'inox sera ensuite décontaminé et passivé à la pâte à passiver comme c'est expliqué aux chapitres sur les aciers inoxydables, car le fait de l'avoir soudé l'a oxydé et réactivé.

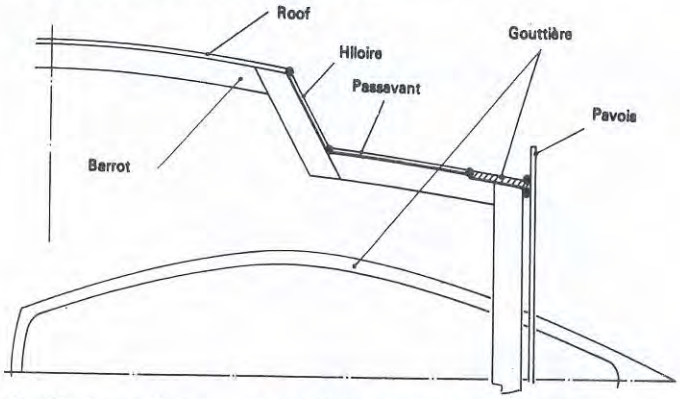


Croquis D 106 : *Tenue des tôles de pont lors du soudage des cordons transversaux.*



Croquis D 107 : *Tenue du livet par une cornière lors du soudage des cordons continus.*

Croquis D 108 : *Gouttière de renforcement de la liaison pont-coque d'un grand bateau.*



FAUX PAVOIS

Après avoir découpé les tôles de coque et de pont au ras les unes des autres, le long du livet, vous pouvez avoir un petit regret et préférer ajouter un pavois. Ce n'est pas difficile.

Mais il est à peu près impossible de souder une bande de tôle aussi étroite en bout des tôles du bordé sans que le raccordement se voit et soit choquant à l'œil. La soudure déformera la bande de tôle qui ne sera pas dans le plan du bordé. Et le cordon de soudure étonnera. Il faut découper une bande de tôle à la courbure du pont, d'une hauteur déterminée à plat ou qui sera déterminée sur place avec une cornière de 30 comme indiqué plus haut, et la pointer puis la souder sur le pont, non pas en bord, mais rentrée de 2 ou 3 cm. Verticale ou inclinée parallèlement au bordé, cette bande de tôle sera peinte différemment du bordé si on le veut, et apparaîtra bien comme une décoration et non comme un rattrapage d'erreur.

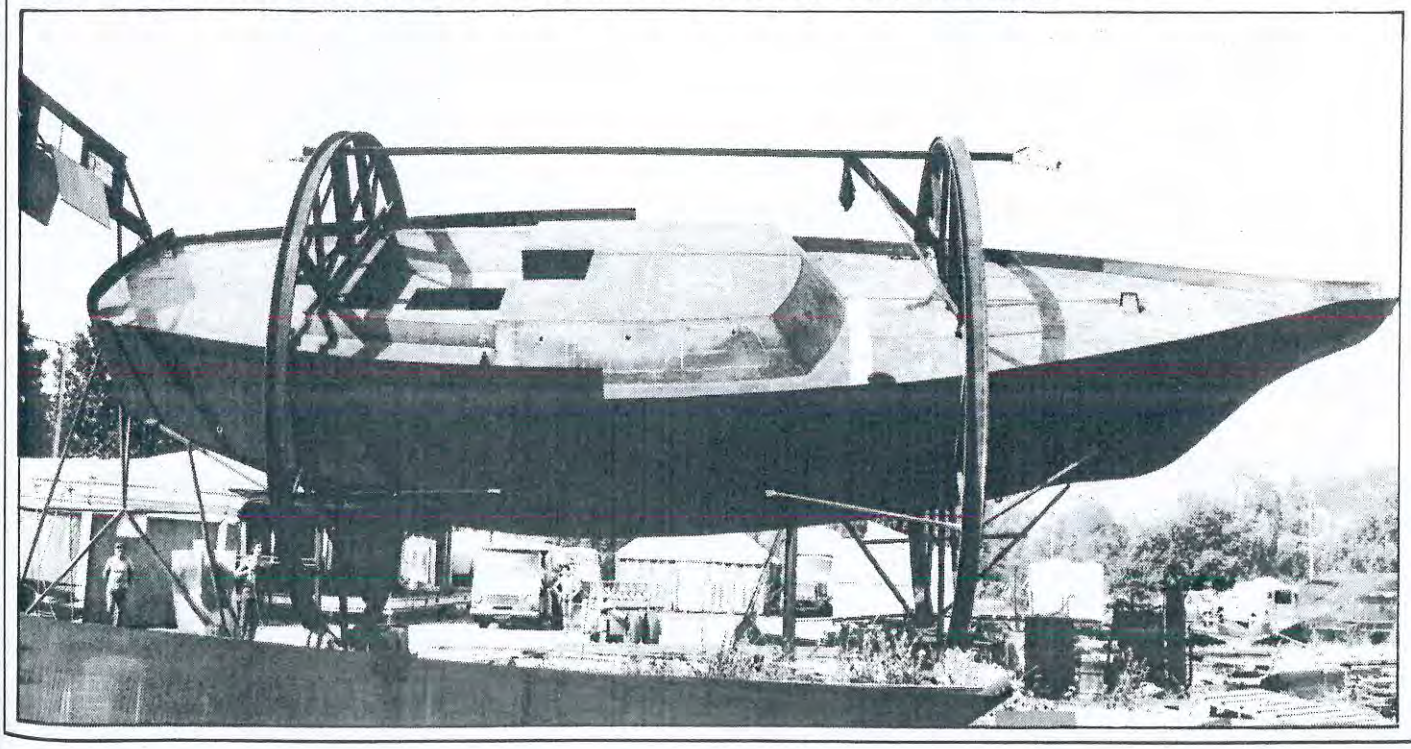
Comme tout à l'heure, il faudra souder un rond d'inox 304 ou 316 de diamètre 10 à 14 mm sur le dessus de la bande de tôle de pavois.

Cette bande de tôle sera d'une épaisseur suffisante pour éviter les déformations du soudage : 4 mm pour des bateaux de 7 à 12 m ; 5 mm au-dessus ; 6 mm au-delà de 20 à 25 m.

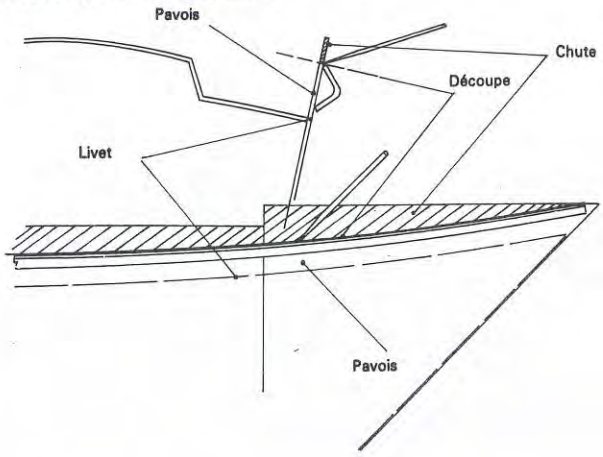
HAUTEUR ET PROFIL

On convient en général qu'une hauteur à l'arrière de 5 cm sera correcte pour des bateaux de 7 à 11 m ; 7 cm de 12 à 14 m ; 10 cm ou plus au-delà. Cette courbe peut être parallèle à celle du pont jusqu'au maître-bau, voire en avant du milieu en partant de l'arrière. Ensuite, cette courbe gagne à monter vers l'avant pour atteindre 10 cm pour des bateaux de 7 à 10 m ; 12 à 15 cm de 11 à 14 m ; de 15 à 20 cm au-delà.

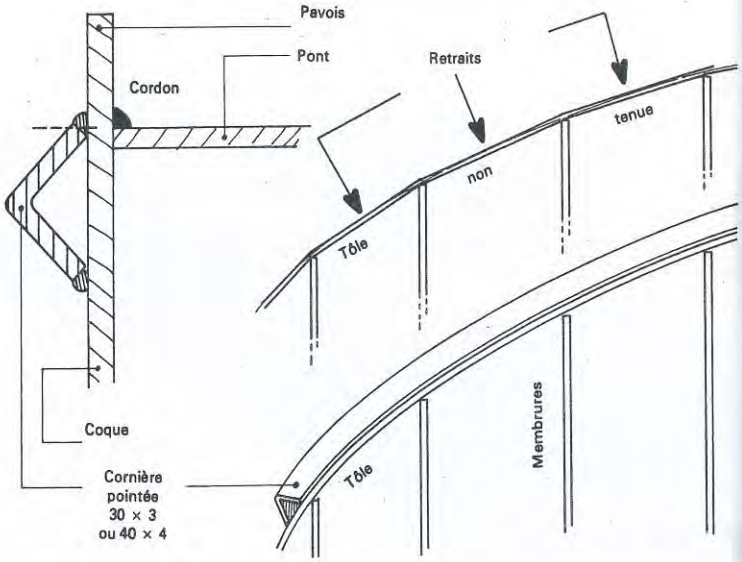
Photo D 43 : *Pont en cours de bordage. Notez le pavois et le château arrière. Le pavois sera découpé ultérieurement.*



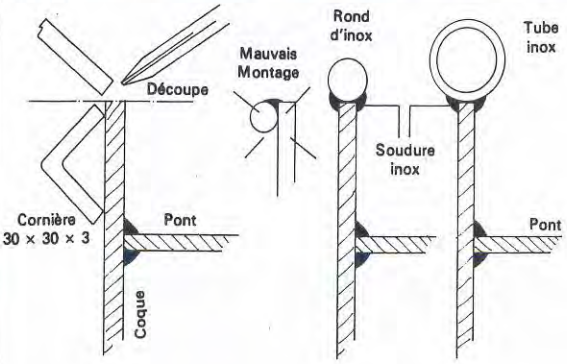
Croquis D 109 : *On se guide sur la courbure d'une cornière pour découper le haut du pavois.*



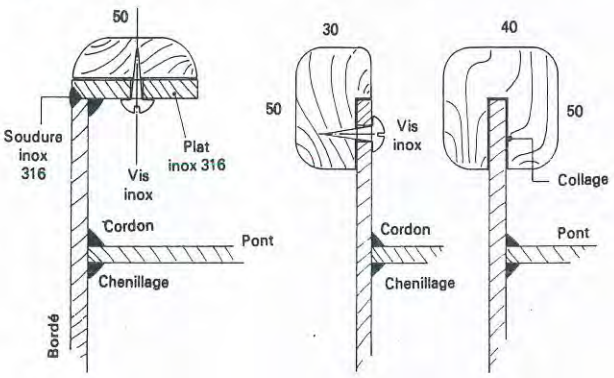
Croquis D 110 : *Tenue des tôles lors du soudage des cordons continus.*



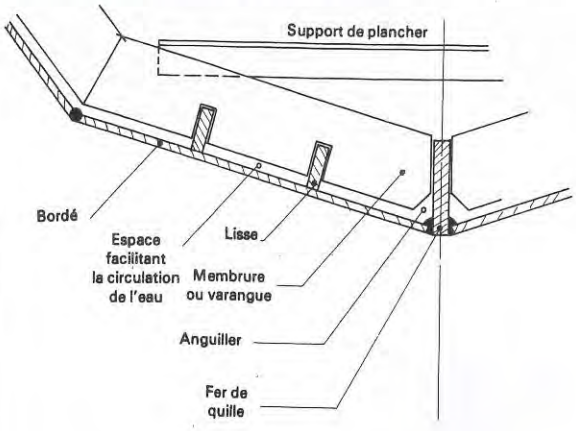
Croquis D 111 : *Découpe et finition du pavois avec un rond ou un tube inox soudés à l'inox sur le dessus de la tôle de pavois.*



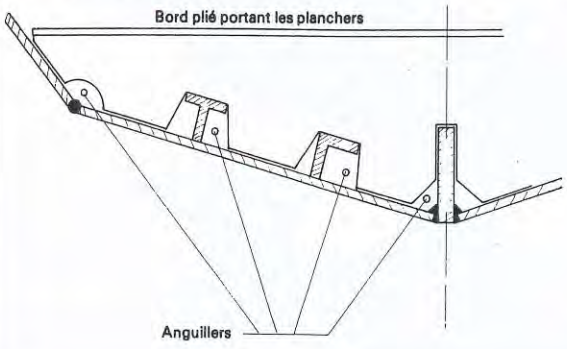
Croquis D 112 : *Finition bois d'un pavois. Plat ou L vissés. U collé.*



Croquis D 113 : *Anguiller dans une structure en fers plats.*



Croquis D 115 : *Anguillers dans une varangue non étanche, en tôle pliée, avec lisses en L ou en T.*



Je vous ai expliqué que les « *ponts cylindriques* » impliquent que la courbe du livet descende de l'arrière vers le milieu puis remonte et de nouveau s'infléchisse vers l'horizontale en s'approchant de l'étrave.

On profitera du pavois pour corriger cette contre-courbe qu'on peut trouver inesthétique. Le pavois, vrai ou faux, peut rester parallèle au livet jusqu'au maître-couple, mais doit ensuite remonter et continuer à filer vers le haut lorsque le livet s'infléchit à l'avant, et en ligne, droite vue de profil, qui soit tangente à la contre-courbe. Chose qu'un dessin explique mieux qu'un texte ! Les bandes de décoration peintes dans le haut du bordé seront des courbes parallèles ou de même nature que le haut du pavois et non pas parallèles au livet tel qu'il découle de la géométrie.

DALOTS

Des ouvertures seront pratiquées au ras du pont pour l'écoulement de l'eau. Il faut penser que des feuilles mortes et divers déchets auront à passer par ces dalots dont les dimensions ne seront pas inférieures à 100 mm de long et 30 mm de haut.

Eventuellement, un rond d'inox de diamètre 6 à 8 entoure ces dalots afin de

pouvoir s'en servir comme de chaumards et y faire passer des gardes et autres amarres. Les dalots doivent être placés judicieusement pour l'écoulement de l'eau à sec, en navigation et au mouillage où l'assiette du bateau sera différente selon que les voiles et les mouillages, par exemple, seront rangés à l'avant ou à l'arrière.

On y ouvrira aussi les chaumards. On arrêtera le pavois à l'arrière et à l'avant juste avant les balcons, sur un petit bateau, tandis qu'on peut entourer tout le pont sur un bateau de plus de 11 m. Ceci pour des raisons esthétiques. *(Photos D 43 et D 44. Croquis D 109 et D 112).*



Photo D 46 : ***Varangues en tôles pliées sur construction artisanale.***

25

LES VARANGUES

Vous l'avez lu au début de ce manuel de construction amateur ou artisanale de bateaux en acier, les varangues sont des renforts du fond de la coque encaissant les efforts de la quille et raidissant la poutre que constitue la coque. J'avais calculé qu'une poutre coque du type du *Stervenn* ou de l'*Ile Disko* résistait sans bouger à un effort de flexion de plus de 40 tonnes. Le rôle des varangues est important et ces fers ne sont pas à négliger. Comme ils ne sont en fait solidaires que du fond de la coque et du fer de quille, si elles étaient posées lorsque le bateau est à l'envers, elles seraient suspendues sous les lisses. Mieux vaut les mettre en place après le retournement.

VARANGUES POUR CONSTRUCTION AMATEUR

Les varangues sont constituées de deux tronçons de fer plat de même échantillonnage que les membrures. Ces tronçons sont reliés entre eux par une cornière en L qui sert aussi de support des planchers à moins que ceux-ci soient placés très haut dans le cas d'un aménagement à salon de pont, par exemple.

Chaque tronçon est posé et encastré dans les lisses après que les encoches qui leur sont destinées aient été découpées. Inutile dans ce cas de découper plus que l'enfoncement théorique car il n'y a guère de réglage à prévoir. Il est soudé aux lisses et au fer de quille. Puis on pose la cornière qui est nécessaire à la triangulation de l'ensemble varangue.

Cornière et lisses sont perçées comme les membrures et les barrots de trous d'un large diamètre pour recevoir les tasseaux de support des aménagements et du vaigrage.

VARANGUES EN TOLE PLIEE

Un artisan et tout constructeur professionnel pouvant plier des tôles aura largement intérêt à faire des varangues en tôles pliées. Le bord rabattu aura une largeur de 30 à 50 mm. Les tôles auront une épaisseur de 4 à 6 mm pour des bateaux de 8 à 14 m. Cette fois, il faudra déterminer la hauteur des planchers avant de découper les tôles et de les plier. Il ne faut pas oublier d'y découper les encastrements de lisses, celui du fer de quille, et d'ouvrir des anguillers, notamment de part et d'autre du fer de quille, en coupant l'angle inférieur du V de la varangue.

VARANGUE ETANCHE

La règlementation de la Marine marchande française impose pour les bateaux construits en France des varangues étanches en avant et en arrière du moteur. En place sous un cockpit central, on lui placera une varangue rendue étanche de part et d'autre. En cockpit arrière, on se contente en général d'une varangue en avant du moteur. Dans le cas d'une varangue en

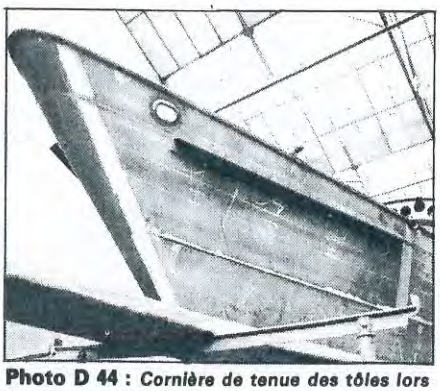


Photo D 44 : ***Cornière de tenue des tôles lors du soudage du pont au pavois, au chantier Meta.***

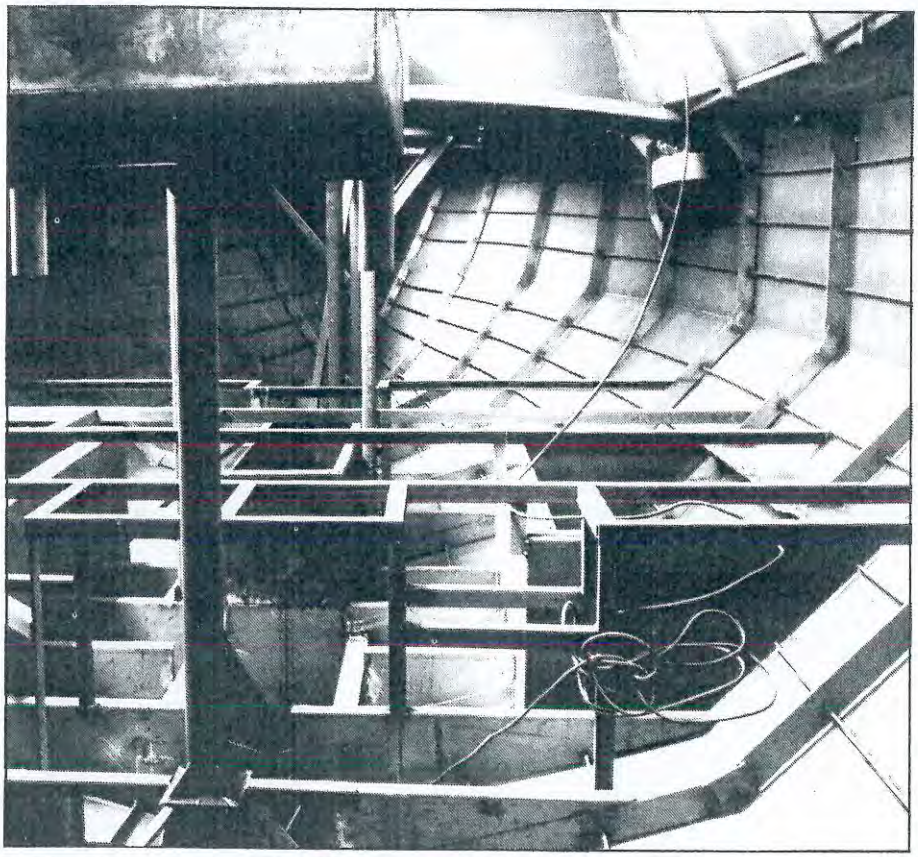
tôle pliée, il est facile de la dessiner telle qu'elle touche le fond du bordé et soit ainsi jugée étanche. Les encastrements sur les lisses sont ajustés et soudés. Il n'y a pas d'anguiller, bien entendu.

Dans le cas d'une varangue en plats, on peut poser les plats sur le dessus des lisses et compléter les espaces fermant le niveau de la hauteur des lisses par des rectangles de tôle de 4 mm.

Vous lirez dans le chapitre sur les cloisonnements étanches que pour avoir une étanchéité parfaite, il faudrait couper les lisses et les ressouder de part et d'autre des varangues. Mais on considère que dans le cas présent l'étanchéité n'a pas été réalisée pour de fortes pressions de liquides, et que le montage proposé plus haut convient.

Je rappelle simplement qu'on attend le retournement du bateau pour placer les varangues travaillant ainsi à l'aise dans le fond du bateau. *(Photos D 45 et D 46. Croquis D 113 à D 115).*

Photo D 45 : ***Structure d'un salon de pont. Varangues et cornières de support des planchers.***



26

DÉCOUPES DANS LE PONT

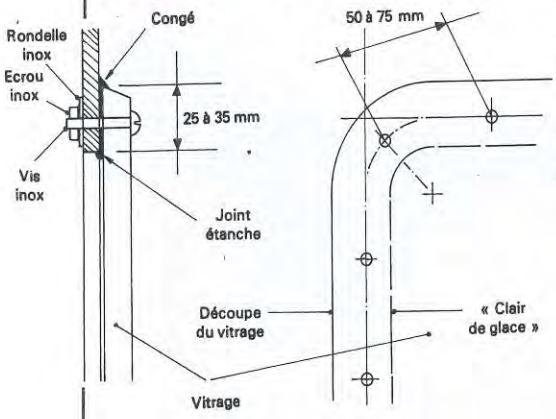
En règle générale, pour pratiquer une découpe destinée à recevoir un équipement fabriqué, tel qu'un panneau de pont, un hublot ouvrant, etc, mieux vaut d'abord se procurer la pièce d'accastillage et pratiquer les perçages et les découpes en s'en servant comme gabarit en relevant bien le sens droite gauche et le côté du bateau où il sera positionné s'il y a une symétrie.

CAPOT DE PONT PANNEAU OUVRANT

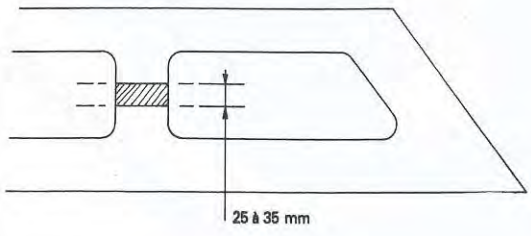
Les panneaux ouvrants posés à plat pont, type *Goïot, Plastimo, Gebbo, Taselaar, Elite Marine, Barbarossa, Rhigo,* etc, seront fixés sur un cadre réalisé en L d'acier ou d'inox dans une épaisseur lui conférant toute rigidité = 4 mm par exemple (40 x 4...).

Deux écoles s'affrontent. L'école qui, pour l'esthétique, place ces cadres à ras le pont. L'école qui, tenant compte des ruissellements d'eau sur le pont les fait dépasser d'une dizaine de cm ; comme le fait Tabarly. En général, des niveaux intermédiaires sont choisis. Et pourtant l'opinion de Tabarly est pleine de bon sens !

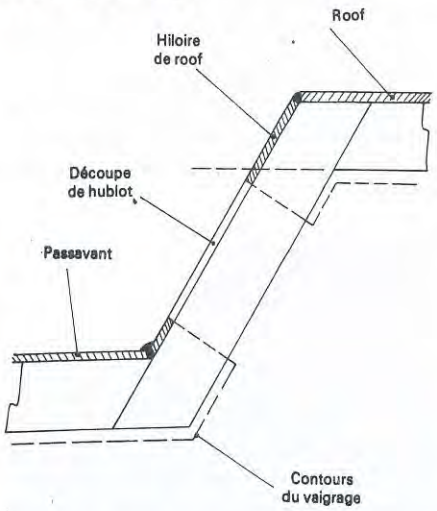
Croquis D 116 : *Fixation d'un vitrage fixe.*



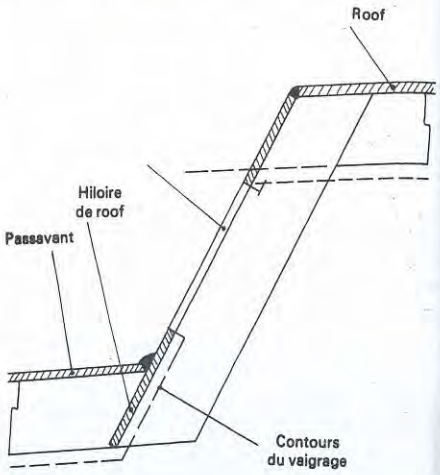
Croquis D 117 : *Découpe entre deux hublots de roof permettant de passer à l'intérieur les panneaux de contre-plaqué des aménagements.*



Croquis D 118 : *Hiloire de roof en construction amateur ou artisanale.*



Croquis D 119 : *Hiloire de roof en construction sur mannequin de pont.*



Elle permet aussi de fixer divers anneaux et pattes sur les côtés des cadres pour saisir des lignes de vie, manches à air en toile pour les zones intertropicales.

L'inox sera préférable à l'acier. De l'inox 304 suffira, soudé avec des baguettes de même nuance, décontaminé et passivé, puis peint ou poli.

VITRAGES FIXES

Les vitrages fixes des hiloires de roof (côtés du roof) sont souvent boulonnés directement contre la tôle avec interposition d'un joint étanche type Sika ou Rubson...

Les ouvertures des vitrages doivent être aussi grandes que possible car les matériaux ne rendent plus du tout possible le défoncement d'un roof en acier ou d'un vitrage fixe bien posé et d'une épaisseur suffisante. Ces épaisseurs sont définies dans le Décret de la Marine Marchande sur les bateaux de plaisance de moins de 25 mètres.

Les angles des découpes gagnent à être arrondis pour y éviter le déchirement des tôles.

Le percement des trous de fixation se fait d'abord dans le roof puis, par relevé de gabarit dans le vitrage lui-même dont les bords sont aussi arrondis, les chants biseautés, pour ne pas blesser et ne pas retenir l'eau.

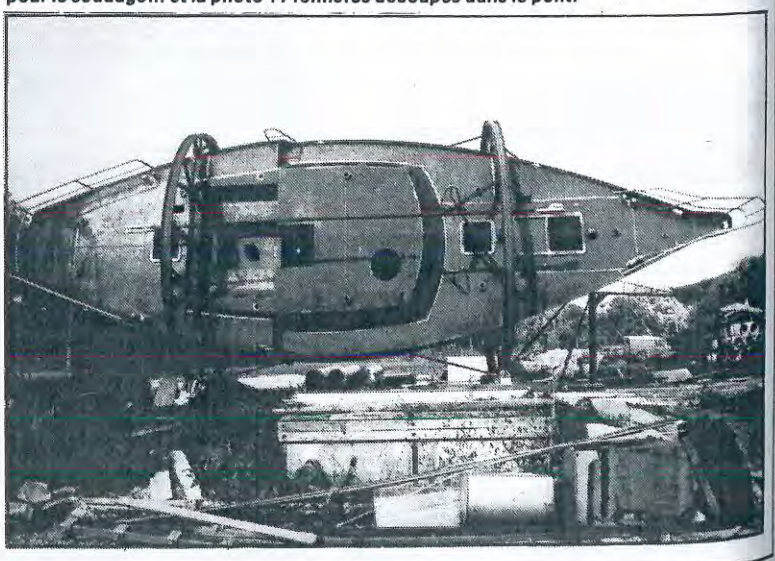
La mise en place se fait en serrant progressivement les boulons centraux puis en allant vers les extrémités. Eventuellement pour une face avant de roof, on peut chauffer le vitrage en Altuglass, Plexiglass, Lexan, etc, avec des linges trempés dans de l'eau bouillante et appliqués sur le vitrage pendant sa mise en place. Le serrage doit alors être modéré et très progressif. Je conseille parfois d'user de boulons en nylon. Il ne faut jamais visser les vitrages, mais toujours les boulonner.

ENCADREMENT DE DESCENTE

La hauteur du rebord de l'encadrement de la descente au-dessus du toit de roof ne doit pas être inférieure de 5 à 10 cm si on veut que la descente soit étanche. Un encadrement simple peut être réalisé en plat d'au moins 4 mm d'épaisseur.

Sur la face du roof, les panneaux amo-

Photo D 47 : *Mouvements de rotation d'une grande croisière dans les roues, pour le soudage... et la photo ! Premières découpes dans le pont.*



vibles de la descente viendront se loger dans les L en inox chenillés contre la tôle du roof ou dans des U en inox chenillés, le côté contre la tôle de roof. Il faut veiller à ce que l'aile qui sera côté intérieur dépasse plus que l'aile extérieure. Le panneau inférieur reposera sur un plat ou un L en inox laissant librement s'écouler l'eau, donc sans aile verticale à l'extérieur. Ces glissières peuvent aussi être réalisées en bois. Cette technique a ma préférence pour sa facilité de mise en œuvre et sa chaleur esthétique. Elles doivent toujours être inclinées pour former un V largement ouvert afin que les panneaux ne se coincent pas (V insuffisamment ouvert ou glissières parallèles) et pour qu'on ne soit pas contraint à soulever les panneaux amovibles sur toute la hauteur des glissières, comme c'est le cas si elles sont verticales.

VITRAGES DE ROOF ENCASTRÉS

Les vitrages des côtés et du devant de roof peuvent aussi être encastrés dans les L soudés dans les ouvertures découpées dans les tôles d'hiloires. Il faut prévoir de n'encastrer ces vitrages que de leur épaisseur ou de celle d'un cadre d'inox ou de bois qui les habille et répartit la pression du serrage. Trop les encastrer mène à des stagnations d'eau.

Mêmes remarques et même montage pour les vitrages de bordé de coque.

VUS DE L'INTÉRIEUR

Vus de l'intérieur, ces encadrements doivent s'aligner sur les éléments de structure les plus saillants si on veut que le vaigrage habille l'ensemble joliment et soit facile à réaliser. Ce qui dépasse sous le toit de roof et sous le pont sera aligné sur le profil et l'épaisseur des barrots.

Ce qui dépasse à l'intérieur de la coque sera aligné sur le profil et l'épaisseur des membrures. La largeur totale des encadrements est donc le total de leur partie saillante extérieure, plus l'épaisseur des tôles et plus leur partie intérieure.

On déterminera, de cette façon, les hauteurs des encadrements :

- de panneaux de pont et de roof,
- de capots de pont et de roof,
- de vitrages fixes ou ouvrants d'hiloires de roof et de bordé de coque,
- de descente.

Ainsi que les hauteurs :

- des tubes des aérateurs Dorade,
- des tubes d'écubiers pour la descente des chaînes.

Et même les hauteurs des bittes d'amarrage afin qu'elles ne dépassent pas à l'intérieur du vaigrage si les impératifs de solidité ne l'imposent pas. Ce n'est guère qu'au-dessus de 14 mètres ou de 15 tonnes qu'on devra reprendre les bittes d'amarrage en fond de coque ! *(Photo D 47, croquis D 116 à D 119).*

27

DIVERS DÉTAILS SUR LE PONT

CHANDELIERS ET BALCONS

Les chandeliers et balcons sont réalisés en acier galvanisé et peints ou mieux en inox 304 voire 316. Ils peuvent être directement soudés sur le pont renforcé par une doublante d'inox 304 soudée, d'épaisseur 3 à 4 mm. La hauteur des chandeliers et des balcons avant et arrière sera de 600 à 800 mm avec deux niveaux de filières en câble inox, la filière supérieure de diamètre 4 mm, la filière inférieure de diamètre 3 mm et distante du pont de 300 mm quelle que soit la hauteur des chandeliers. Mieux vaut du câble inox non gainé, car l'eau de condensation ou de pluie qui reste dans les gaines corrode vite tout ce qu'elle trouve, y compris l'inox ! Oui, l'eau, plus elle est pure (distillée) et plus elle corrode les aciers inoxydables courants.

Les balcons de pied de mât auront aux environs de 850 mm de haut et seront distants de 800 à 900 mm de l'axe du bateau.

L'espace entre deux chandeliers ne dépassera pas 1,80 à 2 mètres.

EMBASES POUR BALCONS ET CHANDELIERS

On peut aussi monter balcons et chandeliers sur des embases en acier galvanisé ou en inox soudées au pont. J'en propose une désormais constituée d'un rond plein de 1 mm inférieur au diamètre intérieur des balcons et chandeliers en inox. Ce rond d'une longueur de 150 à 170 mm dépasse du pont d'environ 90 mm.

Sous le pont, il est soudé au bordé de coque. Ainsi liée au pont et au bordé, l'embase est très rigide et le pont ne peut pas plier en cas de violente traction.

Chandeliers et balcons sont emmanchés sur les embases et retenus par une vis inox de 4 mm.

Les embases gagnent à être en rond d'inox 304. Elles sont soudées dans la même nuance, polies et passivées. Si elles ne sont pas polies, elles doivent être peintes. De toute façon, il faut les passiver à la pâte à passiver.

RAILS DE FOCS EN ALU

Chacun connaît les rails de focs du commerce en T d'aluminium anodisé. Ces rails seront boulonnés soit sur une cornière en L d'inox, ép. 3 mm, raidie par des « goussets » de place en place.

Ils peuvent aussi être boulonnés dans un plat d'inox taraudé et soudé au pont. Ce plat aura une épaisseur de 6 à 10 mm selon les bateaux.

Entre le rail et le winch, l'écoute doit passer par une poulie de renvoi montée sur une patte d'inox à peu près dans le prolongement du rail, faute de quoi l'avale-tout a des chances d'être tordu ou cassé.

RAILS DE FOCS EN PLAT D'INOX

Quant à souder de l'inox sur le pont, on peut aussi opter pour un rail focs constitué d'un plat d'inox 304 percé de trous. On y saisit une poulie folle sur émerillon qu'on déplace de trou en trou selon le réglage choisi.

Ce plat aura une épaisseur de 4 à 6 pour des bateaux de 8 à 14 mètres. Sa largeur sera de 40 mm en général et des trous de 15 mm percés tous les 50 mm.

Le « rail » est chenillé sur chant. On se reportera aux indications sur le chenillage en quinconce. La poulie de renvoi est là encore conseillée si l'angle de tir est éloigné du prolongement du rail.

C'est une solution économique et tout à fait fiable pour les longs voyages. Elle convient moins bien aux fréquents réglages des navigations côtières du week-end mi-promenade mi-régate.

PATTES DE LIGNE DE VIE ET D'ÉCOUTE DE GRAND-VOILE

Je vous propose, toujours pour les grands voyages et dans le but de réaliser un système fiable, simple et très durable, le principe d'écoute de grand-voile suivant.

Il s'agit d'une écoute double composée de deux palans indépendants de puissance moyenne, trois ou quatre brins, pour des bateaux de 7 à 15 mètres. Ils doivent être combinés à un hale-bas très puissant.

Chaque palan comporte, du côté de la bôme, une poulie simple ou double avec un émerillon et du côté du pont une poulie double avec taquet coinceur incorporé. Cette poulie est montée sur un émerillon et un mousqueton rapide ou un maillon ouvrant.

Chaque palan arrive, sur le pont, à une patte d'écoute identique à ce qu'on utilise pour les lignes de vie et la trinquette bômée.

Ces pattes sont en inox 304 de 40 à 60 mm de large ; 40 à 60 mm de haut et 6 à 10 mm d'épaisseur. Elles sont percées d'un trou de grand diamètre = 15 à 25 mm. Elles sont soudées sur le roof sans le traverser car l'effort ne le nécessite pas. Elles sont polies ou peintes et passivées après soudage.

Elles sont chacune distantes de 1 mètre à 1,50 mètre de l'axe selon la taille du bateau.

Au près, on règle la grand-voile sur le palan au vent. Lorsqu'on vire, on règle le

second palan. Le premier se mollit en devenant palan sous le vent. Voilà, on peut ensuite louvoyer, les deux palans sont définitivement réglés. En abattant, on dégage le palan au vent et, de ce fait, plus rien ne gêne le passage de la descente.

Le palan est amené vers une patte d'écoute soudée sur le côté de roof et forme retenue. On combine ainsi les deux palans qui, tour à tour, règlent l'incidence ou la tension de la grand-voile, ou servent de retenue de bôme.

Ce type de patte s'utilise tel quel pour les écoutes de trinquette bômée, de tourmentin, et pour fixer les lignes de vie.

La traction à laquelle doivent résister les composants d'une ligne de vie est de l'ordre de 2.000 kg. Ce n'est pas à négliger.

DOUBLANTES

Sur le pont on soude un assez grand nombre de « *doublantes* » dans le but d'augmenter localement son épaisseur pour souder ou boulonner une pièce en traction.

Ces doublantes peuvent être en acier doux ou en acier inoxydable. Dans ce cas, l'acier inoxydable 304 sera poli ou peint après avoir été passivé et décontaminé.

Dans l'ensemble des cas, la doublante est soudée sur l'extérieur du pont, avec un cordon continu. Si la pièce tire sur le centre de la doublante pour que la traction soit appliquée sur la tôle de pont et reprise par soudure sur la doublante.

On peut aussi solidariser la doublante au pont par des soudures en bouchon.

L'épaisseur de la doublante est, en général, égale à celle de la tôle du pont ou légèrement supérieure sauf sous le pied de mât qui fait l'objet d'un autre chapitre.

Le rôle des doublantes est de répartir la traction d'une pièce. Elles dépassent donc tout autour de la surface de fixation de cette pièce.

CHAUMARDS

Sur les bateaux en acier on réalise en général les chaumards en acier inoxydable de façon à les souder. On évitera de percer le pont à chaque fois que ce sera possible car un des atouts des métaux est leur étanchéité dans les montages soudés qui sont aussi d'une parfaite homogénéité.

Les chaumards seront avantageusement du type ouvert et croisé. Ils sont réalisés en rond plein d'inox 304 et soudés sur une doublante en inox 304 protégeant même le livet. Pour ce faire la doublante peut être pliée et descendre de 1 ou 2 cm sur le haut du bordé. Il faut éviter les arêtes coupantes qui scient les amarres. Le diamètre du rond variera de 10 à 20 selon la taille du bateau. La longueur de la boucle intérieure sera voisine de 80 à 140 mm et la hauteur intérieure de l'ordre de 20 à 30 mm.

On peut aussi percer le pavois d'ovales bordés d'un rond plein d'inox de diamètre 10 à 12 mm. Le diamètre intérieur du chaumard fermé sera voisin de 100 mm.

BITTES D'AMARRAGE

En général, les bittes d'amarrage disposées sur la plage avant et aux angles de la plage arrière sont constituées d'un tube d'inox de diamètre 80 à 120 pour des bateaux de 8 à 14 mètres.

Elles sont réalisées en tube mécanique d'acier inoxydable 304 d'épaisseur 4 à 6 mm. Leur hauteur totale avoisine les 150 mm. Elles sont traversées d'un rond plein en inox de diamètre 14 à 20 et dépassant d'au moins 50 mm de part et d'autre du tube central. Il faut songer que plusieurs amarres de 16 à 20 mm pourront être prises sur une bitte d'amarrage d'un petit bateau si d'autres plus gros sont amarrés à couple de lui.

Les bittes d'amarrage ne traverseront pas le pont pour des bateaux de moins de 15 mètres. Elles sont soudées au pont à un nœud de renforts intérieurs (barrot et lisse) sur une doublante en acier inoxydable solidaire du pont sur sa périphérie et en son centre. De 15 à 20 mètres, les bittes d'amarrage peuvent être reprises sur les renforts intérieurs du pont. Et ce n'est qu'au-delà de 20 mètres qu'il sera vraiment nécessaire de les descendre jusqu'à la structure de la coque. Il ne faut pas sous-estimer les efforts impliqués par la taille des bateaux mais il est tout aussi sage de ne pas les exagérer inutilement.

CALE-PIEDS MAINS COURANTES

On trouve des cale-pieds sur la plage avant du pont et des mains courantes sur le toit de roof.

En fait, on peut fabriquer l'un et l'autre de la même façon, en tubes d'inox de diamètre 25 à 30. Il faut laisser un espace d'au moins 45 à 50 mm entre le dessous d'une main courante et le roof. Des montants raidissent le tube tous les 50 cm environ.

Sur les bateaux en polyester les mains courantes de roof sont rentrées de plusieurs centimètres sur le roof. Pour des bateaux en acier on les mettra plutôt à l'aplomb de l'angle supérieur du roof de façon à protéger cette arête que les ragages auraient vite fait d'user et de faire rouiller. Lorsqu'on monte et descend du roof, on posera alors le pied sur le tube d'inox et non sur l'arête peinte.

C'est par un ensemble de petites précautions de cet ordre qu'on simplifie désormais énormément l'entretien des bateaux en acier où le pont représentait une bonne part d'heures de travail.

Lorsque le roof mesure 20 à 30 cm, les mains courantes sont placées deux à quatre cm en retrait du bord du roof.

Pour des roofs de 40 cm, on les pose à l'aplomb de l'angle. Pour des roofs de 50 à 60 cm, sur des bateaux dotés d'un salon de pont, la main courante sera même mise en débord extérieur. On soude ses embases presque sur l'angle supérieur du roof mais en dévers sur l'extérieur. La prise en main en est facilitée et les pieds ne toucheront pas l'angle du roof.

Les tubes en inox seront soudés dans la même nuance, 304, puis décapés, passivés, polis ou peints.

On peut aussi les réaliser en un T d'inox chenillé au roof avec un demi-rond de bois vissé sur son aile supérieure. L'aile verticale est découpée de place en place pour l'« écoulement de l'eau ».

Autre possibilité : des pattes d'inox sur lesquelles passe un barreau de bois noble, acajou ou teck. Les dimensions restent voisines de celles indiquées plus haut. Leur positionnement est identique. Les pattes ou le T d'inox seront en 304, soudés en 304, polis, décapés et passivés. S'ils ne sont pas polis, ils doivent être peints.

DES SUPPORTS DE WINCHES

Je déconseille de boulonner directement l'accastillage au travers du pont. Mieux vaut souder sur le pont une platine qui servira à boulonner les winches, taquets, etc.

Dans mes plans, à partir de 1983, je présente des dimensions d'omégas. Il s'agit de U en tôle pliée, soudée à l'envers sur le pont.

Leurs dimensions varient selon la taille et la puissance du winch ainsi que leur percement. Le U est soudé parallèlement à l'axe du bateau. Il sera en inox 304 poli ou peint et passivé. L'épaisseur varie de 4 à 8 mm pour des bateaux de 8 à 14 mètres. Leur « *plateau* » est un carré de 165 à 265 mm de côté. La hauteur est voisine de 35 mm.

Ce type de U peut servir pour tous les winches et même pour le guindeau.

On peut aussi souder sur le pont des galettes d'inox évidées en leur centre, d'un diamètre en rapport avec le diamètre des winches dans des trous taraudés, soit 5 à 12 mm selon la puissance des winches. Un écoulement sera prévu pour l'eau qui parviendrait au centre de ces galettes.

On voit tout de suite que les U sont plus légers et plus jolis. On peut aussi basculer les winches pour qu'ils reçoivent l'écoute perpendiculairement à leur poupée en leur faisant une branche du U plus haute que l'autre ou en coupant les deux en biais.

TUBES ET PATTES POUR AÉRATEUR DORADE

Il ne s'agit pas ici de détailler les équipements à disposer sur le pont. C'est l'objet d'articles mensuels et du numéro

Hors Série 15 de Loisirs Nautiques. L'objet de ce chapitre est d'énoncer la façon de concevoir le montage de ces équipements sur un pont en acier, ou sur un pont en inox comme il en est question dans ce livre.

Un bon aérateur, en bois, orientable et qu'on peut rendre étanche est la boîte dorade. Une boîte, polyester ou aluminium, de fonderie portant un manche à air orientable et amovible, munie d'une chicane, coiffe un tube d'acier galvanisé de diamètre 100 à 120.

Ce tube soudé au pont dépasse de 100 mm au-dessus, et en dessous descend au niveau des barrots de pont de façon que l'habillage et le vaigrage soient aussi aisés que possible.

Sur le haut du tube dont la hauteur sera alors limitée à 50 mm, on peut souder une collerette ép. 4 mm ou acier inoxydable sur laquelle on fixe un aérateur type « *champignon* » occultable de l'intérieur.

Ce montage est utile sur les quillards et les dériveurs devant se rendre à la mauvaise saison dans des mers réputées difficiles.

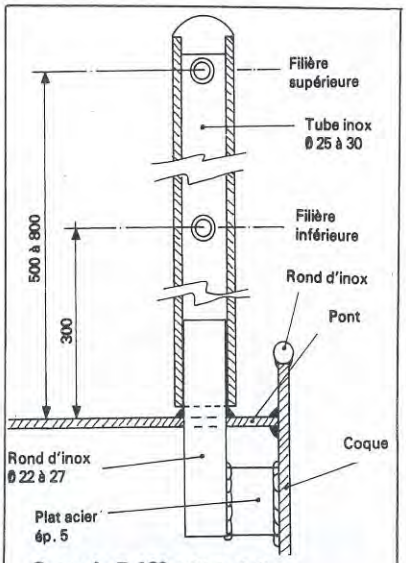
Quatre pattes d'inox ép. 4 taraudées reçoivent les vis de la boîte dorade qui ne doit pas reposer sur le pont mais être surélevée de 5 mm pour que l'eau s'écoule et entraîne d'éventuelles salissures

DES ECUBIERS

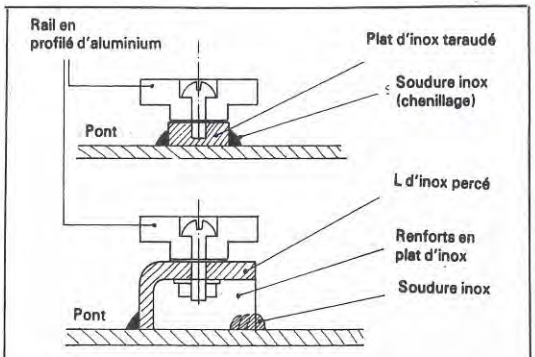
Les écubiers sont les passages de chaînes depuis le pont vers l'intérieur. Sur les « *petits* » bateaux (7 à 9 mètres) où un guindeau n'est pas nécessaire, la chaîne vient du davier d'étrave et descend dans une caisse en contre-plaqué plastifié comme cela est expliqué avec les détails d'aménagement. Pour les bateaux plus grands, la chaîne passe par un guindeau et l'écubier est posé à l'aplomb du barbotin. C'est une section de tube d'acier inoxydable 316 de diamètre 50 à 100 dépassant de 50 mm environ et descendant sous le pont, d'une longueur égale à la largeur des barrots. *Maurice Brument* équipait ses propres *Vulcain* d'un bouchon en acier inoxydable vissable sur le tube d'écubier et comportant une cadène intérieure et une cadène extérieure. On pouvait ainsi mailler la chaîne à l'intérieur du bouchon et l'avoir à portée de la main. En cas d'urgence, on pouvait mailler directement l'ancre de l'autre côté et jeter le tout à l'eau.

Le haut de l'écubier qui doit toujours posséder un bouchon, peut aussi être entaillé pour bloquer la chaîne. On place alors un maillon dans l'encoche et le maillon suivant étant perpendiculaire assure le blocage.

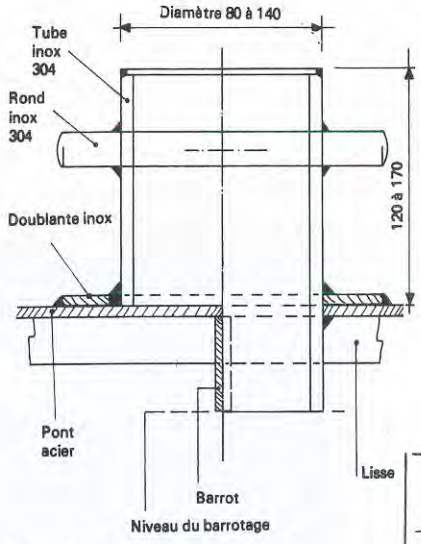
L'écubier principal, pour la ligne de mouillage en usage courant, se trouvera au milieu ou à l'avant de la plage avant. La caisse à chaîne doit être aussi reculée que possible pour ne pas charger l'avant du bateau. Inutile de prévoir des longueurs phénoménales de chaîne. Le



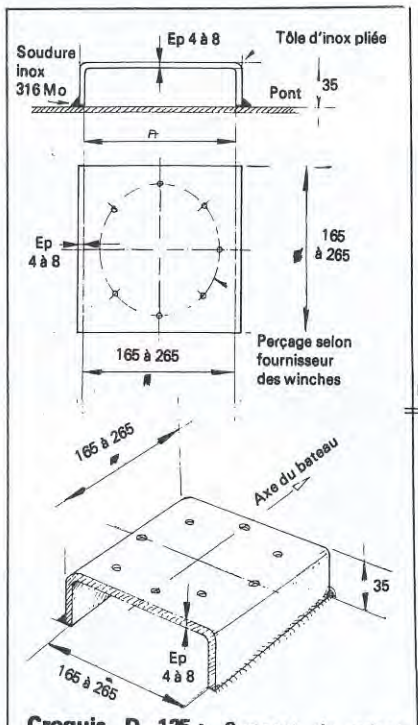
Croquis D 120 : *Chandelier.*



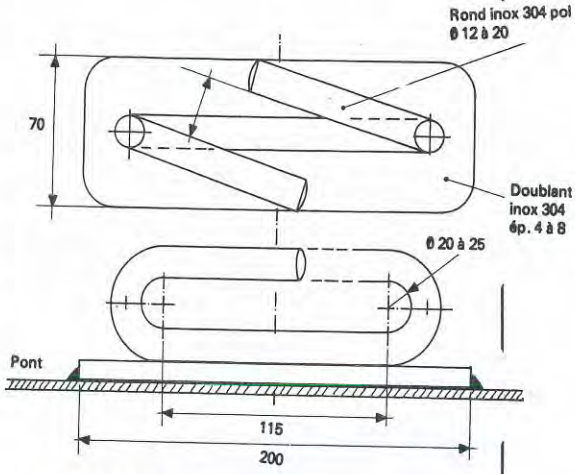
Croquis D 121 : *Fixation d'un rail de toc (ou de grand-voile) en profilé d'aluminium.*



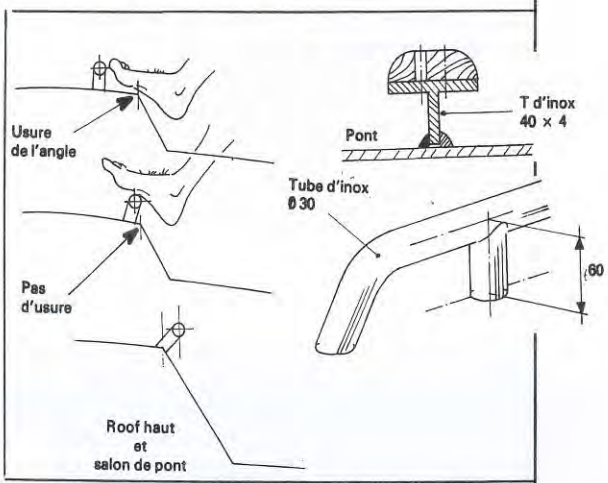
Croquis D 123 : *Bitte d'amarrage avec (gauche) ou sans (droite) encastrement dans le pont. On l'encastre pour des bateaux de plus de 15 tonnes.*



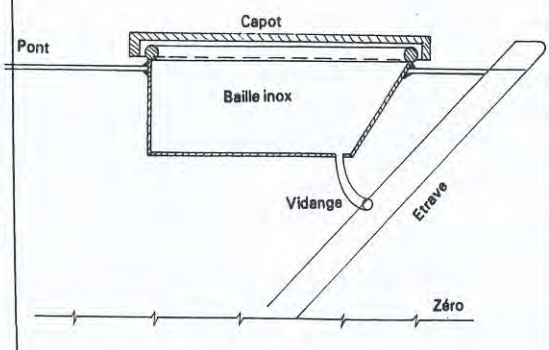
Croquis D 125 : *Support de winch d'écoute.*



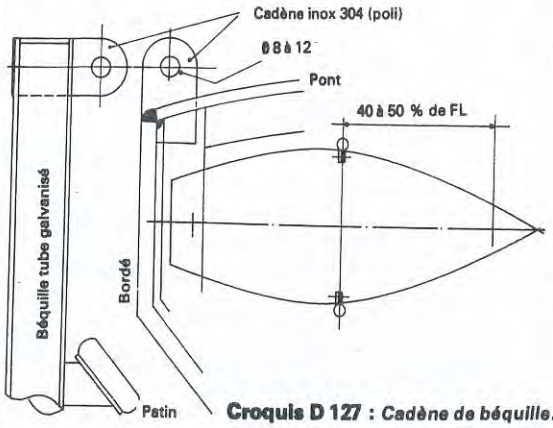
Croquis D 122 : *Chaumard.*



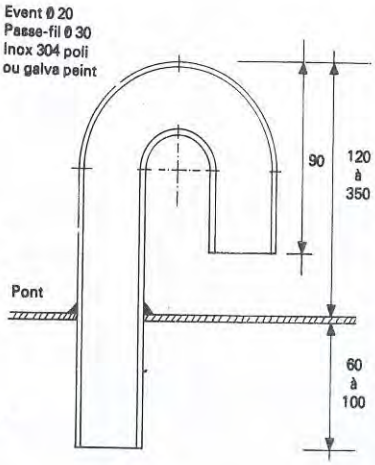
Croquis D 124 : *Cale-pied et main courante.*



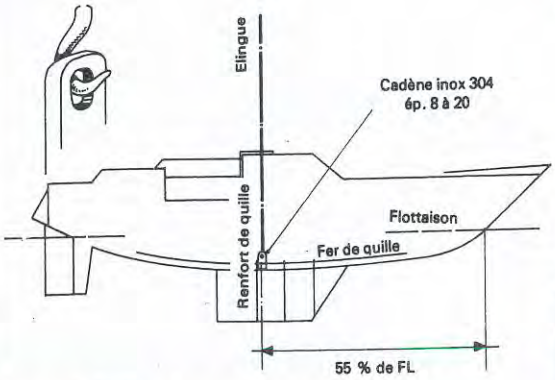
Croquis D 126 : *Baille en inox encastrée dans un pont en acier doux.*



Croquis D 127 : *Cadène de béquille.*



Croquis D 128 : *Event ou passe-fils électriques.*



Croquis D 129 : *Cadène de grutage. Sur mes bateaux, j'ai constaté qu'elle doit être placée à 55 % de l'avant de la flottaison (FL).*

décret de la Marine Marchande est très clair et très logique à ce sujet.

Un autre écubier peut se trouver près du pied de mât pour le rangement d'une ligne de mouillage de réserve dans la quille. On peut aussi en prévoir un à l'arrière pour mouiller par l'arrière. Voyez le chapitre sur les daviers.

UNE BAILLE A MOUILLAGE ?

Les bateaux en polyester, possèdent à peu près tous, près de l'étrave, un coffre sous le pont avec écoulement à la mer, pour le rangement de la ligne de mouillage mixte câblot et chaîne. Sur les bateaux en acier, on gagne à éviter ce genre de coffre.

En effet, il sera aussi difficile d'éviter la rouille sur le pourtour de l'accès au coffre, que sur le capot du coffre et que dans le fond qui devrait être soudé au bordé. On va trouver dans ce coffre, un petit couple situé juste derrière l'étrave, des lisses et un barrot.

Il y aura forcément des ragages. Et un jour, la rouille apparaîtra.

Ceux qui désirent cependant une baille à mouillage peuvent :

- faire un capot en inox 304 ou en bois,
- encadrer l'accès au coffre d'un profil ou d'un rond inox 304,
- très bien peindre le bordé et la structure et les habiller d'un solide vaigrage plastifié et étanche. Malgré cela, il faut

Photo D 49 : *Ensemble de la finition de la plage avant d'un grande croisière.*



Photo D 48 : *Finition du pont (photo Cavois-Lardy).*

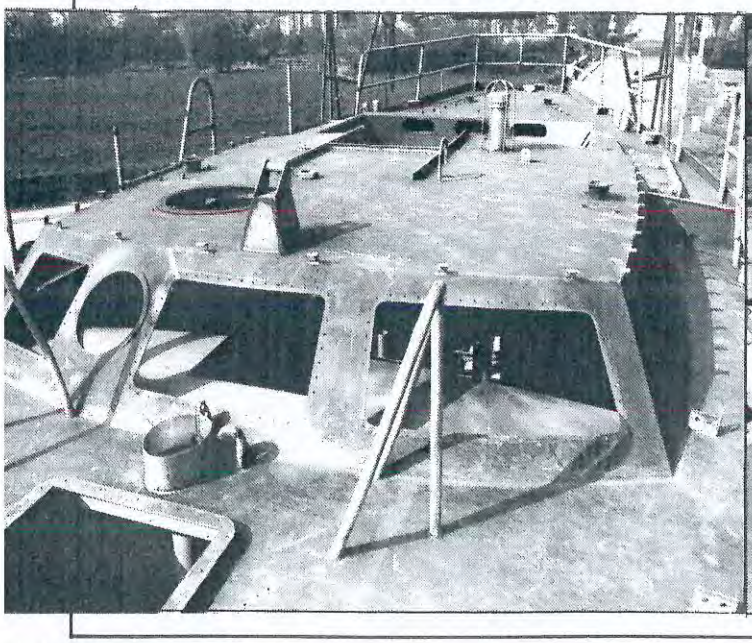
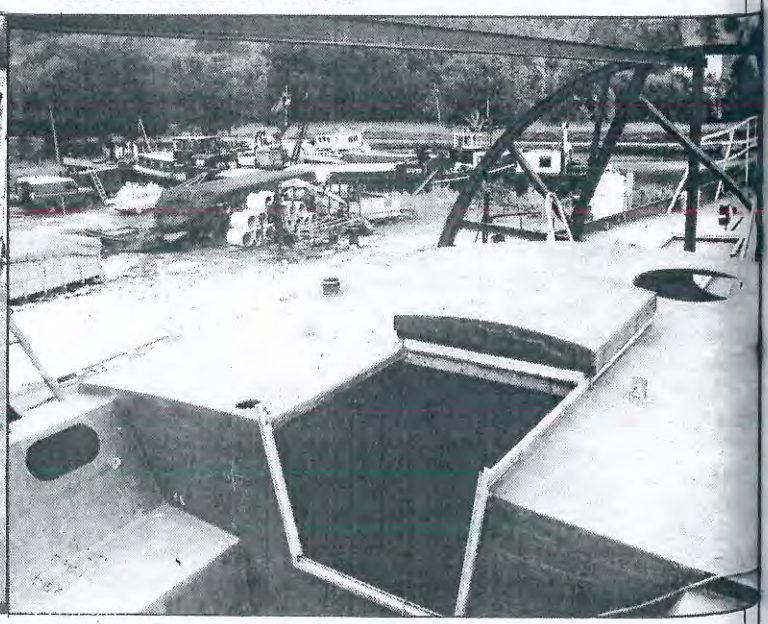
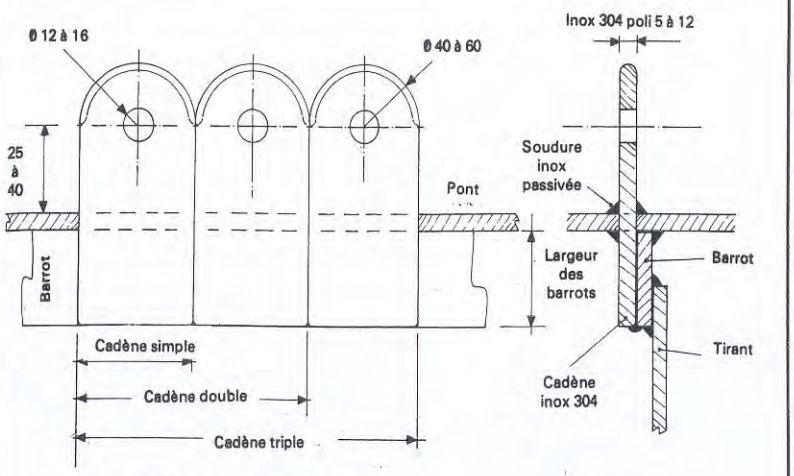
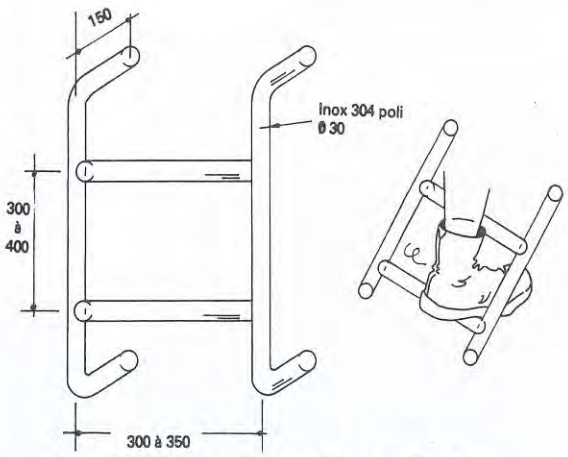


Photo D 50 : *Descente ouverte.*





Croquis D 130 : *Cadènes inox.*



Croquis D 131 : *Ce modèle d'échelons est le plus sûr car il retient le pied à la gîte.*

Photo D 51 : *Caisson pour bouteille de gaz.*

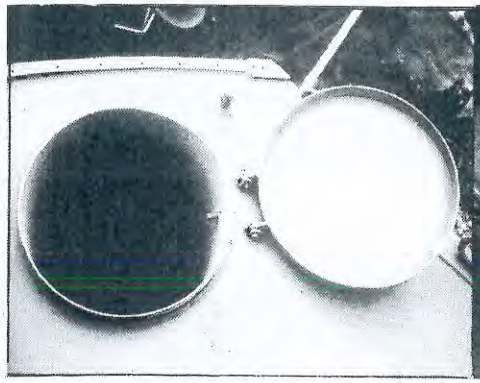
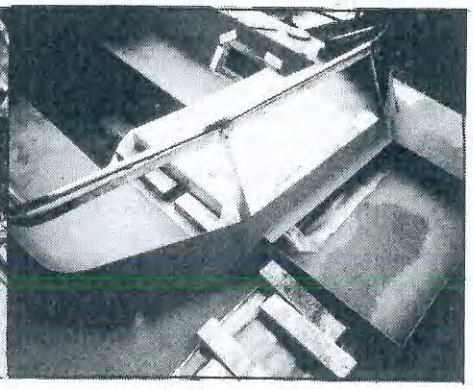
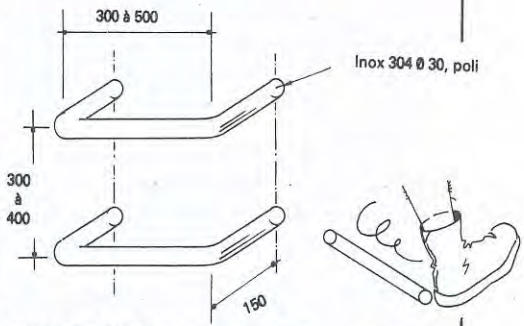


Photo D 52 : *Un pare-brise et une capote.*





Croquis D 132 : *Je ne conseille pas ce type d'échelons qui n'empêchent pas le pied de glisser sur le côté.*

prévoir un écoulement d'eau par un tube d'inox 304 ou 316 soudé au bordé.

- le fond de la baille gagne à être en inox 316.
- mieux encore, on peut concevoir d'encastrer une boîte d'inox dans le pont assez en retrait par rapport à l'avant pour y conserver un accès pour le futur entretien des peintures de la structure de l'étrave. Cette boîte en acier inoxydable 316 est soudée au pont et munie d'un couvercle en inox ou en bois. Un tube d'écoulement la relie au bordé avec, si possible, une section de tuyau souple pour éviter tout arrachement d'un seul tuyau rigide. Les dimensions de cette baille seront adaptées à la taille de l'ancre et au « *volume* » du mouillage.

Ceux qui devront mouiller par l'arrière peuvent prévoir une seconde caisse en inox montée identiquement.

LES DAVIERS

Dans l'ensemble, les bateaux en acier sont destinés à naviguer loin et un peu partout même lorsqu'ils sont d'une « *petite taille* ». Aussi, même les plus petits doivent-ils être bien équipés pour les mouillages et posséder deux daviers d'étrave. Ceux qui voudront naviguer sous les tropiques, les dériveurs, et tous ceux qui le souhaitent, peuvent s'équiper d'un mouillage arrière avec un davier à poste en haut du tableau arrière ou au bord de la jupe.

Je vous conseille de fabriquer des daviers indépendants avec chacun son axe. On les fera dans un U d'inox 304 de 6 à 10 ou 12 mm pour des bateaux de 8 à 14 mètres. Ils comportent chacun un rouleau en résipress monté sur un axe d'inox 304 de diamètre 14 à 20 mm.

Ces U seront soudés sur le pont à la baguette inox puis polis, décapés et passivés. Ils seront peints s'ils ne sont pas polis.

DES CADÈNES DE BÉQUILLES

Sensiblement en avant du milieu de la flottaison, vous pouvez souder un mode d'accrochage des béquilles.

Ce peut être une cadène soudée au ras du pont mais ne dépassant pas du niveau du bordé. Dans ce cas, les béquilles portent une autre cadène déportée vers l'intérieur et qu'on boulonne à celle du pont. Cette cadène ne traversant pas le pont sera en inox 304 de 6 à 12 mm d'épaisseur pour des bateaux de 8 à 14 mètres et d'une largeur de 40 à 60 ou 70 mm.

Ce peut être aussi un tube d'inox soudé dans le haut du bordé, repris sur une membrure et obturé côté intérieur. Les béquilles portent un « *doigt* » en rond d'inox qui vient s'encastrer dans le tube.

Les béquilles seront en tube d'inox ou d'acier galvanisé ou encore d'aluminium. En acier galva ou en inox, elles seront d'un diamètre 40 à 100 pour des bateaux de 7 à 14 mètres. En aluminium, le diamètre passe de 50 à 120. Elles porteront les cadènes nécessaires à leur tenue avant-arrière, haut et côté opposé du bateau, ainsi qu'une semelle, un patin d'appui sur le bordé et, pour l'une d'entre-elles au moins, des échelons.

LES ÉVENTS

Les réservoirs doivent être munis d'une mise à l'air libre pour ne pas exploser quand on les remplit. Les réservoirs d'eau peuvent avoir leur mise à air libre sous forme d'un tuyau qui monte jusqu'au pont et redescend dans la quille. Ce tuyau souple peut aussi être amené dans le cockpit au moment du remplissage.

La mise à air libre des réservoirs de fuel peut être faite par un tube d'acier galvanisé de diamètre 20 mm, piqué dans le haut d'un tuyau de vidange de cockpit. Dans ce cas, un tuyau souple monte d'abord sous le pont pour présenter un col de cygne et éviter les entrées d'eau à la gîte.

On peut aussi concevoir des coudes d'acier inox soudés au pont près de l'axe du bateau, ou montant assez haut contre un chandelier. Ces tubes coudés auront en moyenne un diamètre de 20 mm.

On fabriquera de la même façon des sorties de fils électriques près du pied de mât. Les tubes coudés seront alors en acier inoxydable de diamètre 30 mm.

LE PIED DE MAT

Le tube du mât est emmanché à sa base soit dans un pied, pièce moulée qui repose sur un sabot fixé au pont, ou directement dans la même pièce qui sert de pied et de sabot et est fixée au pont.

Sous le pont, on trouve une épontille qui empêche l'écrasement du pont, permet de tendre le haubanage, de raidir les étais et les bords d'attaque des focs.

Le mât repose au croisement d'un barrot et d'une lisse. On ajoute une doublante épaisse pour éviter que le mât d'une section plus grande que l'épontille poinçonne le pont autour de cette dernière. La doublante, de dimensions en rapport avec la section du pied de mât, aura une épaisseur de 6 à 12 pour des bateaux de 8 à 14 mètres. Elle est soudée en continu sur le pont qui, de ce fait, n'est plus arrondi mais plat à cet endroit. Elle gagne à être en inox mais peut être en acier doux et sera alors peinte avec le reste du pont. Un mât en bois reposera dans un caisson en inox aux dimensions de sa base.

Autour du pied de mât, on pourra souder des plats d'inox permettant de saisir des poulies de renvoi des drisses vers leurs winches et des poulies de renvoi des balancins.

On trouvera aussi une ou deux sorties de fils électriques d'un diamètre approprié aux diamètres et au nombre des fils menés vers le mât et fabriquées comme indiqué dans le chapitre sur les évents. Les fils sont raccordés par des dés au reste du câblage sous le pont. Lorsqu'on démâte, on dévisse les dés et on sort les fils des crosses en tube d'inox. Moyen étanche, efficace et très commode.

On gagne à opter pour un pied de mât du commerce en une ou deux parties. Il suffit de renforcer le pont et d'y boulonner la partie fixe du pied de mât sans autre difficulté.

UNE CADÈNE DE GRUTAGE

Les cadènes de haubanage sont largement plus que suffisantes pour permettre le grutage du bateau même en charge qu'on peut alors lever par les cadènes de galhaubans et de pataras. Si on le veut, on peut souder contre le pavois ou sur le côté du pont, quatre cadènes en inox de 6 à 10 mm pour des bateaux de 8 à 14 mètres.

Elles sont percées d'un trou de grand diamètre pour passer le manillon des manilles en galva utilisées par les grutiers, soit 20 à 35 mm. Ces quatre cadènes seront réparties à 35 et 65 % de la flottaison, partant de l'arrière ou de l'avant, au choix !

On peut aussi prévoir une cadène unique permettant le levage du bateau. Cette cadène, ou ces cadènes, si on pense devoir tâtonner, sera soudée au fer de quille contre ou près d'un renfort de quille. Elle sera en inox, d'épaisseur 12 à 20 mm pour des bateaux de 4 à 15 tonnes avec un trou de diamètre 30 à 40 mm. Elle sera bien sûr située au centre de gravité du bateau. Pour mes bateaux, ce point est proche des 55 % de la longueur de flottaison à partir de l'avant.

Cette cadène permet de gruter le bateau non démâté.

LES CADÈNES DE GRÉEMENT DORMANT

Dans le passé, il était courant de fabriquer les cadènes de gréement courant en acier ordinaire (doux) bagué d'un bout de tube d'acier inoxydable. Les mouvements du ridoir sont tels que le haut de la cadène sera vite mis à nu et rouillera. Mieux vaut fabriquer les cadènes en acier inoxydable 304 ou 316.

Elles seront soudées à travers le pont à un barrot et l'effort sera repris sur la membrure par un fer du même échantillonnage que le barrot, un « Tirant ». La cadène inox sera soudée à la baguette inox, passivée, polie ou peinte.

Afin d'éviter la torsion des ridoirs, les cadènes seront soit alignées sur la ligne concrétisée par les haubans qui y seront ancrés, soit pliées selon cette direction.

Maintenant, la plupart des ridoirs sont conçus avec un cardan inclus, et des côtés de largeur et de profondeur de chape compatibles avec des cadènes en aluminium. Si bien que ceux qui fabriquent un bateau en acier auront peu de soucis à se faire avec leurs cadènes en inox moins épaisses et moins hautes qu'en alliage léger.

Pour des bateaux de 8 mètres, la cadène simple de galhaubans pourra mesurer 5 mm d'épaisseur sur 40 mm de large. Le trou de passage d'axe aura 12 mm de diamètre.

Pour des bateaux de 14 mètres, on trouvera une épaisseur de 10 mm, une largeur de 60 mm et un diamètre de passage d'axe de 16 mm.

L'architecte devra coter toutes les dimensions permettant de fabriquer et positionner les cadènes. Pour ma part, je standardise énormément les cadènes et souvent sur un bateau on ne fabriquera qu'un seul type de cadène pour tous les haubans, les cadènes étant ainsi tirées dans du plat d'inox, de ce fait très économique.

Le dessus de la cadène devra être arrondi dans le sens de l'épaisseur et de la largeur pour permettre au ridoir de basculer sans se tordre, lors des démâtages par exemple.

LA FERRURE D'ÉTRAVE

Les cadènes sont à peu près toutes du type mâle et les ridoirs se terminent en bas par un U renversé, donc de type femelle, formant cardan.

La ferrure d'étrave peut être faite de deux plats d'inox soudés sur le pont. L'étai est alors terminé par un embout mâle pris entre les deux plats, le tout traversé par un axe en inox.

Elle peut aussi tout simplement être le prolongement en acier inoxydable du fer d'étrave, portion la plus en avant du fer de quille. Cette ferrure d'étrave sera souvent du même échantillonnage que le fer de quille mais en acier inoxydable 316 ou 304 (ou 316 L ou 304 L). Elle est alors du type mâle et l'étai a une terminaison femelle à cardan.

La ferrure d'étrave est percée de trois trous. En haut pour l'axe de l'étai, en bas et au milieu pour le foc à poste et le foc paré à être hissé.

Ainsi conçus, la ferrure d'étrave et les daviers, décrits dans un précédent chapitre, sont indépendants dans leur fabrication et leur utilisation, ce qui est la meilleure réserve de sécurité possible. Sur mes bateaux, on trouve des ferrures d'étrave de 60 x 6 et 80 x 6 pour des unités de moins de 10 mètres et 80 x 10 pour l'Ile Disko de 12 mètres dont le fer de quille est de 80 × 8 *« seulement ». (Photos D 48 à D 52. Croquis D 120 à D 132).*

28

DIVERS DETAILS A L'INTERIEUR DU BATEAU

L'EPONTILLE

L'épontille est un élément essentiel, quelle que soit sa forme, de la rigidité du bateau. Elle relie coque et pont et forme la poutre indéformable désirée. Sur les bateaux de course, on recherche un diamètre de mât optimum et aussi léger que possible pour le travail qu'on souhaite faire supporter à l'espar. Celui-ci est utilisé en courses côtières, révisé périodiquement, et, si une pièce donne des signes de fatigue, on la remplace en allant chez l'accastilleur du coin. Par contre, celui qui part loin et longtemps doit éliminer les risques de voir le matériel s'affaiblissant avec le vieillissement, devenir trop fragile pour supporter les contraintes. On ne peut donc calculer un mât selon simplement les charges qui lui sont usuellement appliquées, mais avec une telle marge de sécurité pour tenir compte du vieillissement du tube et des pièces que les méthodes habituelles et fines de calcul sont ridiculisées et battues en brèche. Le vieillissement s'exprimant non en terme d'années mais de milles parcourus !

Or, en circumnavigation, un bateau va « abattre » parfois plus de milles en deux mois qu'un bateau restant en Méditerranée ou en Manche pendant dix ans !

C'est pourquoi, pour la croisière lointaine ou de longue durée, on pose en général le mât sur le pont au lieu de le poser sur la quille, ce qui permettrait d'en réduire la section.

Sous le mât, se trouve l'épontille qui doit être rigide pour que le haubannage puisse être raidi, ainsi que le bord d'attaque, ce qui est la disposition la plus importante pour que le voilier remonte près du vent !

Le diamètre de l'épontille sera largement dimensionné et souvent standardisé avec d'autres tubes comme la jaumière du gouvernail et le tube d'attaque de la quille. Par exemple, 60 × 4 pour un cotre de moins de 10 m et 100 × 6 pour un ketch ou une goélette de 14 m.

L'épontille fait partie d'un couple et peut être bâtie avec le couple à plat sur la table à tracer avant le montage du couple sur le marbre.

L'épontille repose sur le pied du couple par l'intermédiaire d'un plateau d'acier épais raidi par quatre goussets triangulaires.

De même, la tête de l'épontille s'encastre dans le barrot et la lisse d'axe se soude sur le pont raidi par une doublante de pied de mât et par des goussets en tôle épaisse.

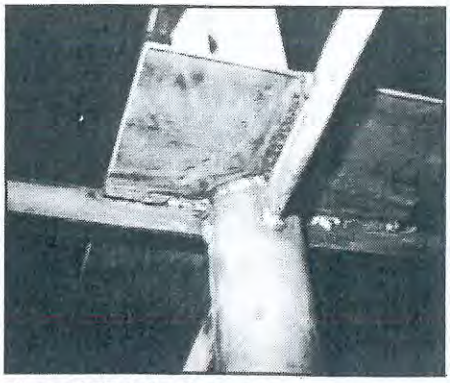
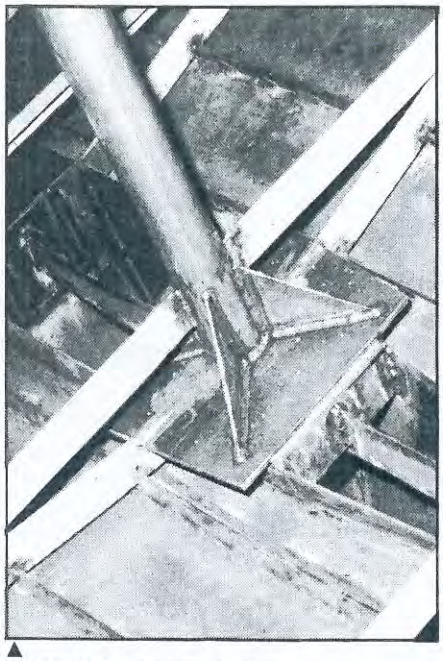


Photo D 53 : *Tête d'épontille.*

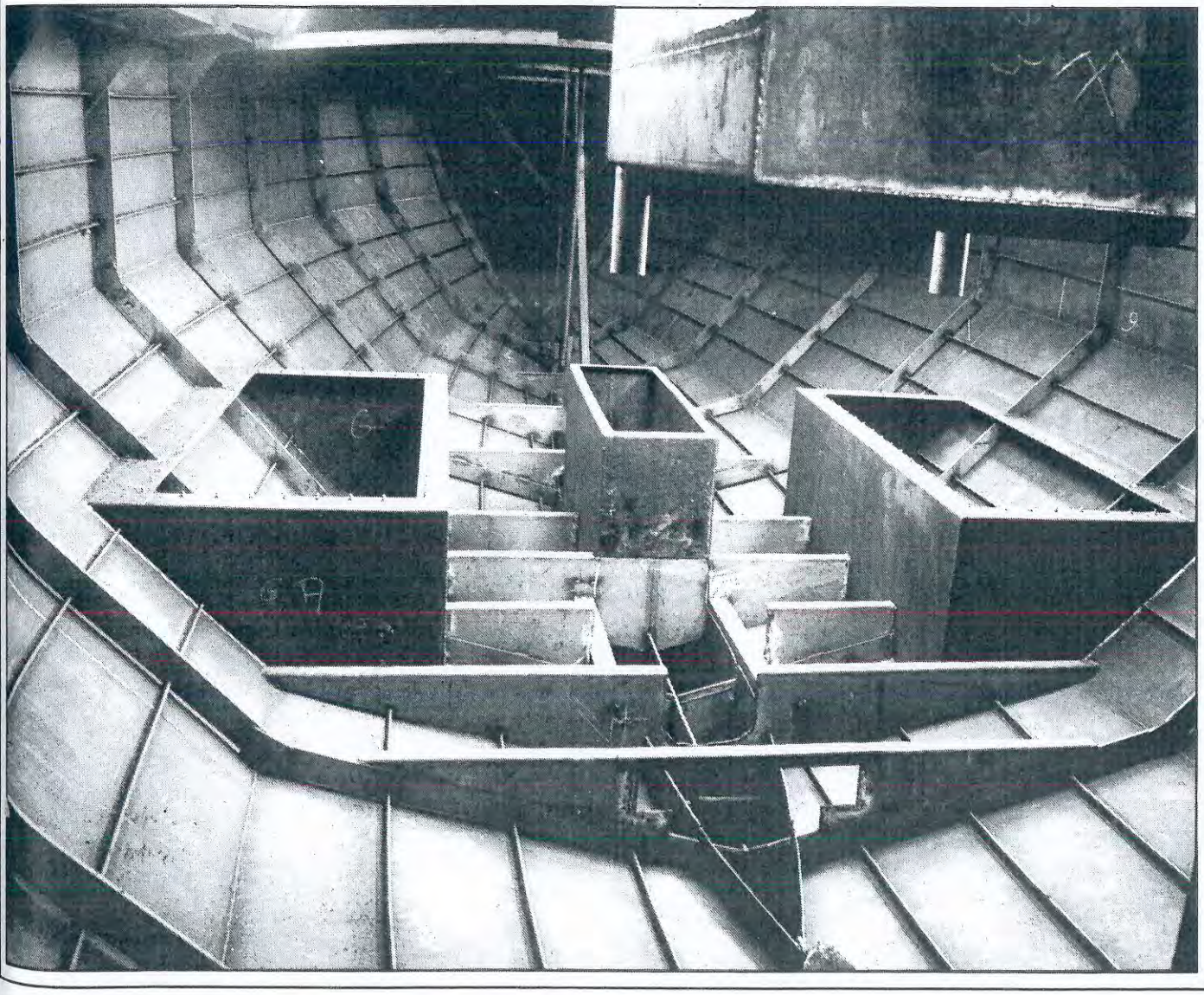


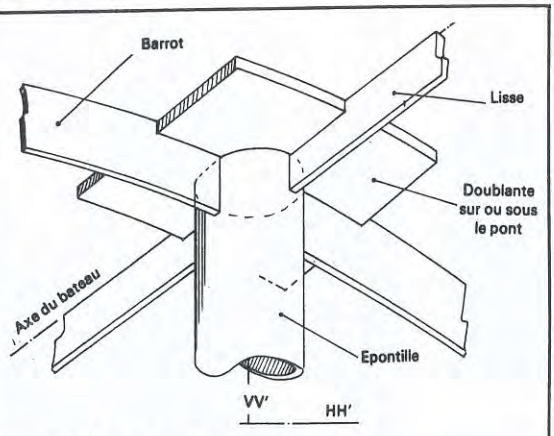


▲
Photo D 54 : *Pied d'épontille.*

◀
Photo D 55 : *Vannes à boisseau.*

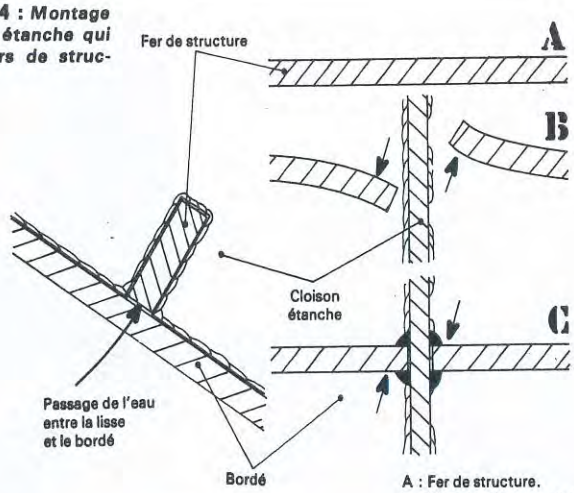
Photo D 56 : *Structure sur lisses. Varangues et réservoirs construits contre le bordé.*
▼



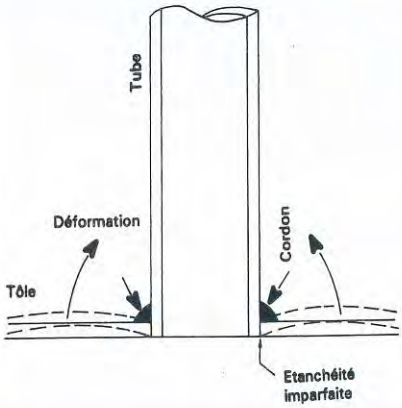


Croquis D 133 : ***Tête de l'épontille.***

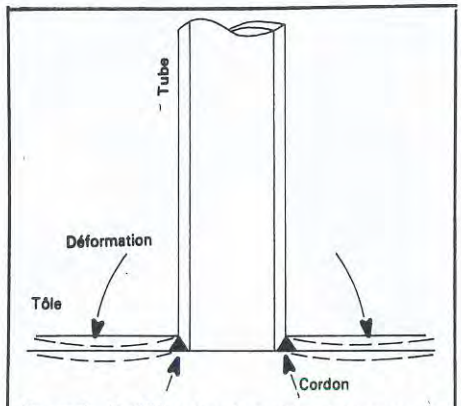
Croquis D 134 : ***Montage d'une cloison étanche qui coupe des fers de structure.***



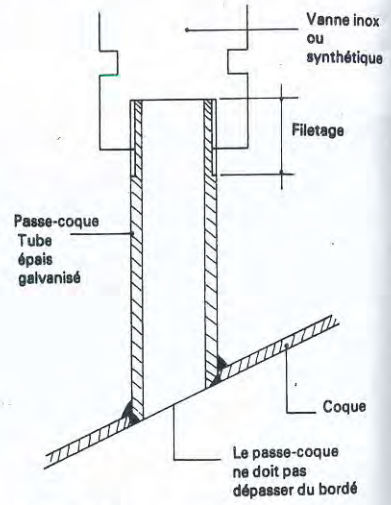
A : Fer de structure.
B : Mise en place et soudage de la cloison étanche. Le fer est coupé et écarté.
C : Après soudage de la cloison, le fer est ramené contre la cloison et y est soudé.



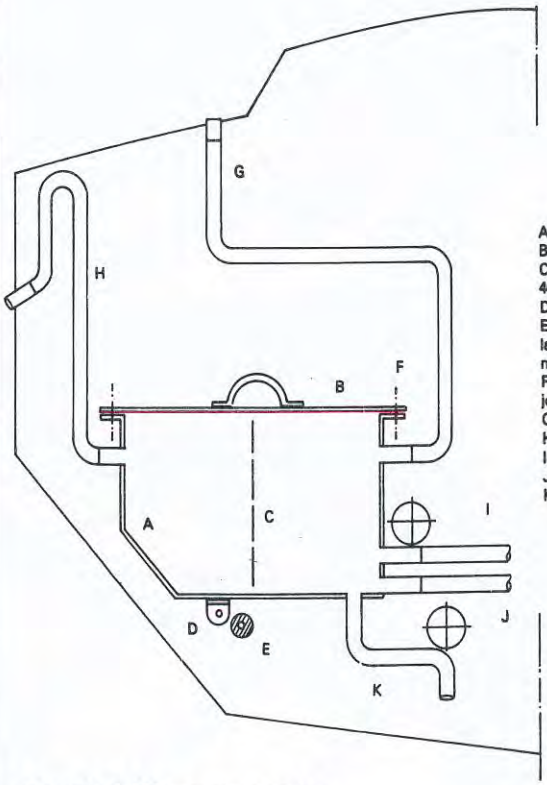
Croquis D 135 : ***Soudage d'un tube sur une tôle. Un cordon intérieur creuse la tôle.***



Croquis D 136 : ***Soudage d'un tube sur une tôle.***
Un cordon extérieur gonfle la tôle. Conseillé pour tubes-vidanges de cockpit, passe-coque, etc.

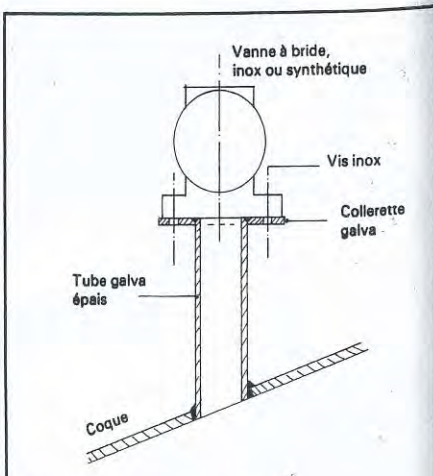


Croquis D 138 : ***Passe-coque fileté.***



A : Réservoir inox 409 (F.12.T).
B : Couvercle boulonné 409 (F.12.T).
C : Cloison si la largeur est supérieure à 400 mm.
D : Patte de fixation à la structure du bateau.
E : Rondelle synthétique isolant le réservoir de la structure (surtout pour bateau en aluminium).
F : Boulons inox de 5 mm tous les 50 mm ; joint synthétique résistant aux hydrocarbures.
G : Remplissage
H : Mise à air libre.
I : Alimentation vers le moteur, avec vanne.
J : Retour de fuel.
K : Purge avec robinet.

Croquis D 139 : ***Réservoir de fuel.***



Croquis D 137 : ***Vanne à bride.***

Notez que l'épontille est mise en place dans le couple dont elle fait partie avant son montage sur le marbre, comme les tirants sous cadènes. Par contre, les cadènes gêneraient la pose du pont ; leurs fentes dans les tôles de pont peuvent, elles, être faites de bonne heure.

L'épontille d'artimon est faite comme l'épontille principale, avec un échantillonnage réduit de 30 à 40 % en moyenne.

CLOISONS ETANCHES BATEAU SUR MEMBRURES

Lorsqu'une coque pontée est construite sur membrures (voyez le chapitre sur les options de structures), les bordés reposent sur la structure transversale que forment les membrures. Une cloison étanche est alors directement montée sur une membrure, éventuellement plus légère, 30 à 40 × 8. La cloison est pointée en débordement sur le cadre que constitue la membrure. Lors du soudage du bordé, le retrait peut faire gondoler la cloison. On casse alors les points et on la remet en place, bien à plat, avant de la souder en continu d'un côté et par chenilles de l'autre. Puis on renforce la cloison par des cornières L ou T transversales.

BATEAU SUR LISSES

Cette fois, le bordé repose sur les lisses longitudinales, les membrures étant plus espacées et ne touchant pas les tôles de la coque.

Une cloison étanche doit, elle, toucher le bordé et y être soudée. Mais les lisses s'y opposent car on ne pourrait évidemment pas souder entre tôle et lisse où l'eau, elle, s'infiltrerait, surtout s'il y a de la pression. On convient que ce raisonnement peut ne pas être appliqué aux lisses de pont car, si un compartiment du bateau était envahi par l'eau, la pression serait très faible au niveau du pont et du haut du bordé. On monte la cloison sur une membrure légère, comme dit précédemment pour les structures sur membrures. Cette membrure touche le bordé. Elle aura un échantillonnage de 30 × 8 par exemple et peut être martelée pour épouser le bombé des tôles. La cloison est pointée. Après le retrait, si elle est bombée, les points sont cassés au burin. Puis la cloison est remise à plat et soudée au cadre que forme la « *membrure* » légère, elle-même soudée au bordé de façon étanche et les lisses.

Sauf celles du pont et du haut du bordé, elles sont coupées au ras de la face de la membrure la plus accessible. Le cordon étanche est exécuté. Puis on ramène le côté de lisse qui avait été tordu pour dégager l'emplacement à souder, contre la membrure, on la chenille au bordé et on la soude à la membrure, reconstituant ainsi la continuité de la structure longitudinale.

Il faut, bien sûr, prévoir ce travail et ne pas cheniller les lisses trop près de la cloison du côté où elles seront coupées et tordues.

Comme on le voit, cela représente un travail suffisamment complexe pour être dissuasif. En fait, il ne faut songer à bâtir des cloisons étanches que lorsque la réglementation l'impose, c'est-à-dire pour des voiliers de plus de 15 m ou des bateaux à moteur de plus de 15 m.

Pour les vedettes de plus de 15 m et de moins de 25 m, il est demandé une cloison étanche de chaque côté du compartiment moteur.

CAISSONS ETANCHES RESERVOIRS

Par analogie avec le chapitre précédent, on comprend qu'il faudra couper les membrures, les « tordre », puis les ressouder après pose et soudage des éléments horizontaux d'un caisson étanche (fond ou dessus) et couper, tordre et ressouder les lisses s'il y en a, au passage des éléments verticaux.

La quantité de travail est à peu près la même pour les deux types de structures sur lisses ou sur membrures du fait du plus grand nombre de renforts transversaux de ce second type.

Un caisson étanche peut être intéressant à construire au pied de l'étrave en cas d'abordage d'un « *objet flottant non identifié* », bille de bois, etc. Ce caisson devra comporter un couvercle boulonné pour nettoyage, aération et peinture. Son volume ne devra pas dépasser 5 % du poids lège du bateau pour ne pas devenir dangereux envahi par l'eau de mer.

Notez donc que pour être étanche au passage d'une lisse, la pose d'une cloison implique de couper cette lisse et de la remettre en place après soudage étanche du cloisonnement car l'eau passerait sous la lisse si on ne procédait pas ainsi. C'est précieux à savoir si on désire construire un réservoir d'eau ou de fuel contre le bordé car ce type de montage correspond au présent chapitre.

LE CAISSON A GAZ

La Marine marchande demande à juste titre que la bouteille de gaz en service soit rangée dans un caisson isolé du reste des aménagements et comportant une évacuation basse, les gaz combustibles étant plus lourds que l'air. Basse mais au-dessus de la flottaison. Ce qui implique un coffre haut placé.

Je vous propose ce caisson cylindrique soudé au pont, ouvert à l'extérieur, accessible par le pont, muni d'un couvercle. Ce caisson peut être soudé à l'arrière du bateau ou sur le côté et déboucher dans les passavants. Il gagne à être en acier inoxydable. Ses dimensions permettant de loger une bouteille de gaz de 13 kg seront d'environ 600 mm de hauteur intérieure, 350 mm de diamètre intérieur, et 2 à 2,5 mm d'épaisseur. Le tuyau d'évacuation du gaz, soudé au bordé ou au tableau arrière aura 15 mm de diamètre. Le fond devra être à environ 250 mm de la flottaison en charge. Le caisson doit être vertical et non pas incliné.

LA CAISSE A BATTERIES

Rien ne s'oppose à ce que le coffre (ou les coffres) des batteries soit en acier doux ou inoxydable soudé à la structure.

Mais on règle souvent l'emplacement de la caisse à batteries pour aider à équilibrer le bateau, et souvent on la fabrique très tard, après la mise en peinture. On fera alors en général la caisse à batteries en contre-plaqué de 15 mm plastifié de deux ou trois mats et tissus de verre. La caisse sera boulonnée à la structure et les batteries y seront sanglées solidement.

Un couvercle fermera ce caisson de façon étanche et un évent soudé dans le roof servira d'aération haute.

UN COFFRE-FORT !

Oui, si vous aviez été autant que moi le confident d'un aussi grand nombre de vols et de pillages, vous ne vous étonneriez pas ! Je conseille souvent à ceux qui font un bateau sur mes plans pour partir aussi loin que longtemps de ranger leurs documents et valeurs dans un coffre en tôle de 4 à 6 mm, soudé au bordé ou au pont, dans un endroit discret ! Ce coffre fermera à l'aide d'une serrure sérieuse et pivotera sur un axe d'inox rendu impossible à couper par un montage tel qu'il soit caché par l'acier de la porte. Lorsque celle-ci est fermée.

C'est tout ce que j'ai trouvé à dire à ceux qui sont revenus sans autres histoires à raconter que celle du pillage de leur bateau !

DES PASSE-COQUES

Toujours misant sur l'homogénéité du bateau en acier, les tubes passe-coque seront fabriqués en acier galvanisé. Mieux vaut ne pas souder trop d'acier inoxydable à la coque sous la flottaison pour ne pas encourager la corrosion galvanique.

Le passe-coque sera un tube épais en acier galvanisé soudé au bordé, sans doublante s'il n'est long que de quelques centimètres. On peut chercher à allonger les passe-coques de façon qu'ils montent au-dessus de la flottaison en charge. Ceci dans le but d'y monter une vanne en bronze. Il faut alors le souder avec une doublante, peut-être le relier à un couple proche par une entretoise, et le faire monter largement au-dessus de la flottaison en charge, à 20 ou 25 cm si possible.

Quelle que soit sa longueur, le passe-coque :

- ne doit jamais dépasser de la tôle de bordé, à l'extérieur ;
- doit toujours être accompagné d'une vanne ;

● doit avoir un diamètre et une configuration découlant de ceux des vannes montées et qui sont achetées avant que soient fabriqués les passe-coques.

Les passe-coques d'évacuation ont un diamètre adapté aux vannes et tuyaux de 1,5 pouce.

Les passe-coques d'admission ont un diamètre adapté aux vannes et tuyaux de 3/4 de pouce.

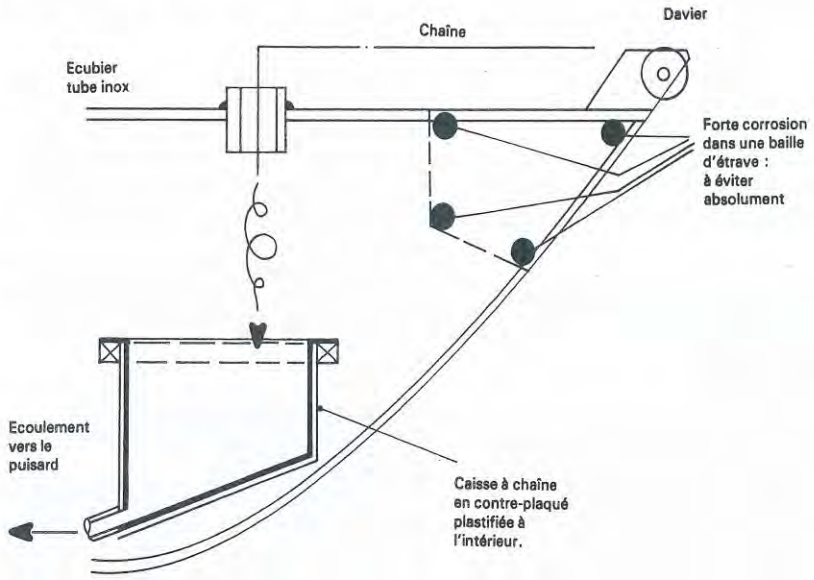
Une vanne peut être vissée sur le passe-coque alors fileté au diamètre et au pas de cette vanne.

Une vanne peut être boulonnée sur le passe-coque alors muni à sa partie intérieure d'une collerette d'acier galvanisé Ep 4.

Pour un bateau en acier, les vannes seront en inox ou en matériau synthétique avec un noyau en acier inoxydable. Evitez le bronze. On trouve des vannes inox G. Fleury, Randex ; et des vannes synthétiques Randex.

Une pinoche en bois est attachée à chaque passe-coque en cas de voie d'eau.

Croquis D 140 : *Caisse à chaîne.*



UN RESERVOIR D'EAU

Un réservoir d'eau peut être fabriqué à même la quille. Il peut aussi être indépendant, sous forme d'un ou plusieurs caissons boulonnés à la structure, voire construits à même le bordé comme je le disais au chapitre des caissons étanches.

Un réservoir indépendant de 100 à 300 l aura une épaisseur d'acier doux ou d'acier inoxydable de 3 à 2,5 mm. Le haut du réservoir présentera un bord plié tourné vers l'extérieur et c'est tout le dessus qui se boulonne et non plus une trappe comme cela se faisait jusqu'aux années 80. Si le réservoir mesure plus de 0,40 m dans le sens de la largeur du bateau, il devra comporter une cloison anti-roulis.

S'il est en acier doux, le réservoir devra être sablé, peint au zinc et peint avec des peintures alimentaires côté intérieur. D'où l'importance de pouvoir ouvrir tout le dessus !

S'il est en acier inoxydable, il sera poli ou satiné, décontaminé et passivé comme expliqué dans les chapitres sur les aciers inoxydables. Je signale qu'il arrive qu'un réservoir en inox présente des traces de corrosion ou de rouille. Ce sera souvent à cause de soudures faites dans les angles. J'attire votre attention sur une technique nouvelle, à bien assimiler : il faut plier les côtés du réservoir de façon à avoir un minimum de soudures réalisées dans les angles, et surtout un minimum de « *nœuds de soudures* », soudures qui se croisent.

Sont soudés sur le côté du réservoir :

● le remplissage, tube inox diamètre 40 à 50 ;

● l'évent, tube inox diamètre 20 ;

● un ou plusieurs tubes vers les éviers, douche, etc., diamètre 3/4 pouce ;

● une purge avec robinet ou bouchon.

UN RESERVOIR DE FUEL

Si on considère les risques pour la santé, et la sécurité, et les désagréments, d'une fuite de fuel, j'encourage la fabrication de réservoirs de fuel indépendants plutôt qu'à même la quille ou contre le bordé.

Il faut savoir que le zinc et le fuel sont incompatibles. Si bien qu'un réservoir de fuel fabriqué en acier doux devra non seulement être protégé par des peintures au zinc mais de plus peint avec des peintures résistant aux hydrocarbures.

Aussi peut-on conseiller pour les réservoirs de fuel l'acier inoxydable avec les mêmes précautions que celles énoncées pour les réservoirs d'eau au chapitre précédent, et les mêmes échantillonnages.

Sur le côté, on soudera les tubes inox suivants :

● un remplissage diamètre 40 à 50 ;

● un évent diamètre 15 à 20 ;

● une alimentation diamètre 8 × 10 ;

● un retour diamètre 8 × 10 ;

● un robinet de purge dont l'accès sera ainsi beaucoup plus commode que si le réservoir de fuel était bâti dans la quille.

Sont soudés au réservoir les départs du remplissage, de l'évent, de l'alimentation et du retour. Entre le réservoir et l'autre extrémité, on trouvera des portions souples en tuyau renforcé et « *homologué* », spécial pour hydrocarbures.

Ainsi réalisés, les réservoirs d'eau et de fuel peuvent être déplacés pour participer à l'équilibrage. Le réservoir d'eau peut être fait dans la quille. Le réservoir de fuel devrait à peu près toujours être fait comme décrit dans ce présent chapitre.

Pour les dériveurs, ce sera de toute façon une nécessité en l'absence d'une quille ! (*Photos D 53 à D 56. Croquis D 133 à D 140*).

29

AUTOUR DU MOTEUR

GÉNÉRALITÉS

Un bateau en acier implique assez peu de particularités concernant le moteur. Il importe cependant de prendre certaines précautions :

● isoler le moteur par des silentblocs,

● isoler l'accouplement : accouplement synthétique,

● isoler l'arbre de la coque par une bague hydrolube synthétique sans manchon en bronze ou en cuivre,

● ne pas mettre à la masse de la coque le circuit électrique du moteur, ni par le moteur, ni par le câblage, ni par le démarreur. Il le sera par le circuit d'eau lorsqu'il sera en marche, l'eau formant conducteur,

● opter pour un arbre en acier inoxydable 316,

● opter pour une hélice en inox ou en aluminium (AG6 ou autre alliage convenant à sa fabrication).

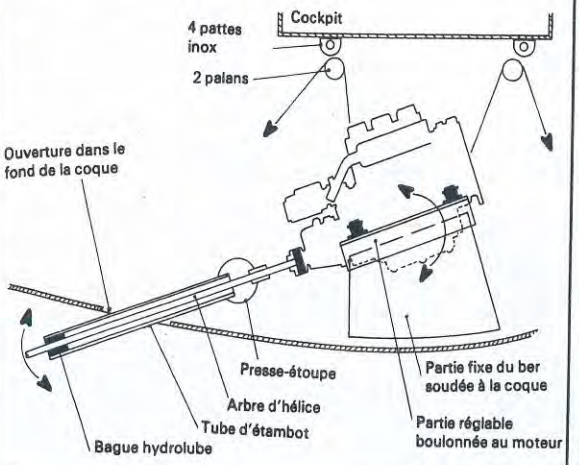
MISE EN PLACE

Lors de la fabrication du fer de quille et de la coque, sauf cas particulier, on ne s'occupe pas du tube d'étambot, ni du ber moteur (berceau), ni de la « *chaise* » de ligne d'arbre.

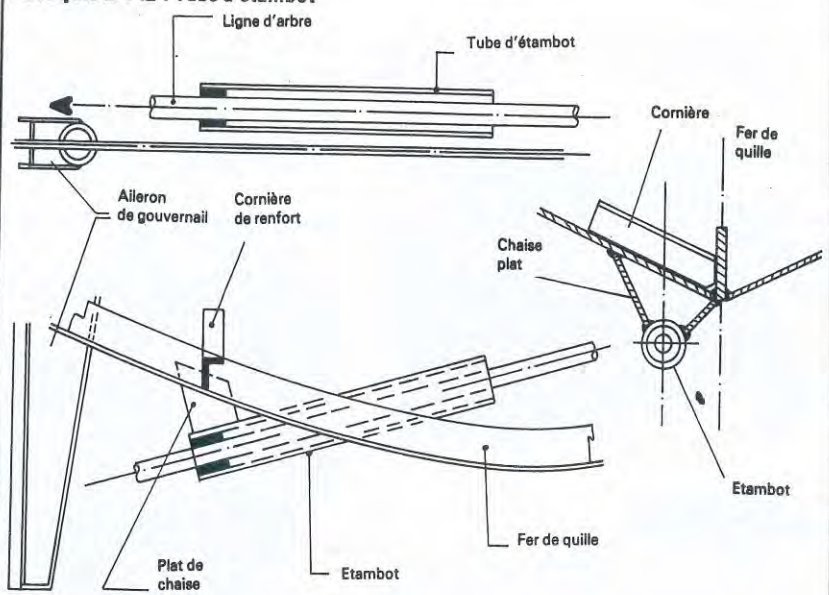
Pour assurer une bonne mise en place et un lignage parfait, je vous conseille de procéder comme suit.

D'après les plans de l'architecte vous déterminerez la zone à ouvrir dans le

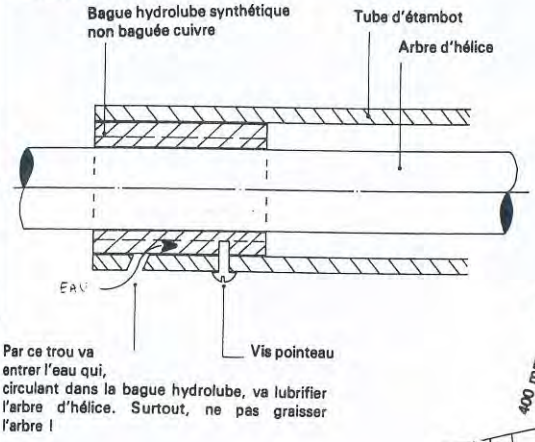
Croquis D 141 : *Lignage du moteur et ber en deux parties coulissant l'une sur l'autre.*



Croquis D 142 : *Tube d'étambot*

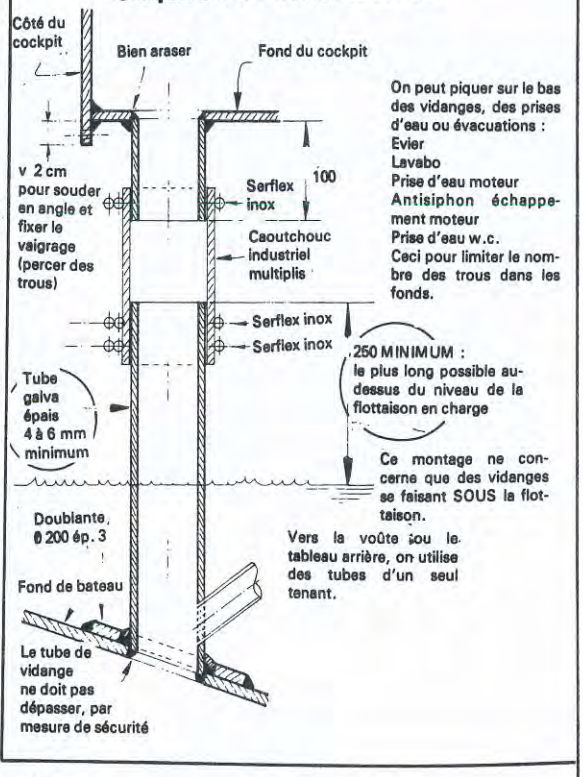


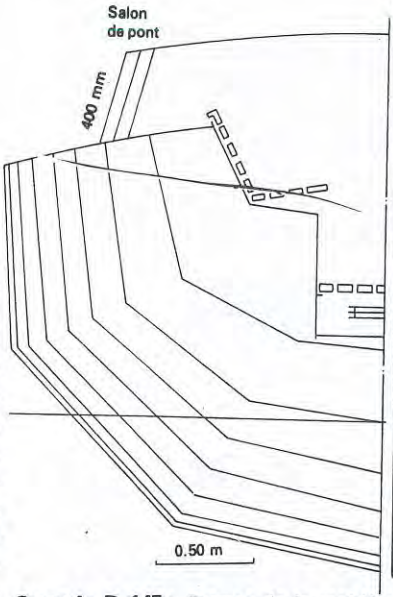
Croquis D 143



Par ce trou va entrer l'eau qui, circulant dans la bague hydrolube, va lubrifier l'arbre d'hélice. Surtout, ne pas graisser l'arbre !

Croquis D 144 : *Vidange de cockpit.*





Croquis D 145 : *Formes de la moitié arrière d'Exploration à double bouchain, plans Caroff.*

fond du bateau pour passer le tube d'étambot. Toutes les pièces constitutives de l'ensemble sont fabriquées. Le tube d'étambot est coupé un peu plus long si nécessaire et sera raccourci par son extrémité extérieure. On suspend le moteur à quatre cadènes d'inox soudées sous le cockpit. On pointe à la coque la partie fixe du ber. On boulonne aux pattes du moteur la partie réglable. Puis, on accouple l'arbre, le tube d'étambot, l'hélice et le moteur dont on cherche la meilleure place, l'angle le moins fort possible par rapport à l'horizontale. C'est l'ensemble qu'on bascule. On se base sur la place nécessaire pour l'hélice, à l'extérieur et sur celle du moteur à l'intérieur. Puis, les éléments solidaires de la coque y sont pointés : étambot, partie fixe du ber. Les éléments réglables sont coupés à la bonne longueur ou au bon angle (arbre, étambot, chaise extérieure, partie réglable du ber).

Ensuite les pièces mobiles sont désaccouplées.

Ce qui était pointé, est soudé. L'ensemble est réaccouplé pour vérification. On ferme la fente, faite dans le fond de la coque, pour le passage du tube d'étambot.

En général, dans un bateau métallique, le moteur est monté souple, avec un accouplement rapide et isolé et un presse-étoupe flottant.

BER MOTEUR

Lorsqu'un constructeur professionnel monte fréquemment les mêmes types de moteurs dans les mêmes modèles de bateaux, il peut stabiliser ses modèles de bers.

L'amateur qui construit sa coque à besoin d'une possibilité de réglage. Je propose ce type de ber.

- aux pattes du moteur, on boulonne deux tôles pliées dont les joues verticales sont coupées de façon à permettre un réglage de l'angle ;
- à la coque on pointe, puis on soude, deux tôles verticales contre lesquelles viennent glisser les joues des tôles pliées, boulonnées aux pattes du moteur.

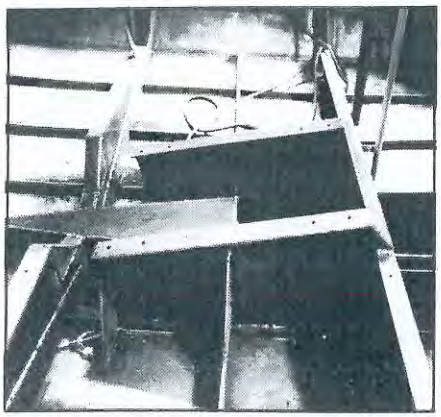
Pour des moteurs de 8 à 10 cv, ces tôles ont 4 mm d'épaisseur, 5 à 6 pour des moteurs de 10 à 35 cv ; 6 à 8 au-delà.

On voit bien le principe du réglage de l'angle d'inclinaison du moteur. Lorsque le bon angle est trouvé, on pointe la partie réglable sur la partie fixe. On ôte le moteur en le soulevant sous le cockpit grâce aux cadènes qui y sont soudées. On soude le ber en lui ajoutant des entretoises et des goussets.

Le moteur peut être déplacé, grâce aux pattes inox soudées sous le cockpit, en changeant l'ancrage des bouts ou chaînes de réglage.

On peut le sortir par le capot de descente, sans nécessité de découper une trappe dans le fond de cockpit.

Photo D 57 : *Ber moteur.*



L'ÉTAMBOT

Enfilé autour de l'arbre accouplé au moteur, le tube d'étambot est amené à sa bonne place, dans une fente découpée dans le fond de la coque. On ne fait pas passer le tube d'étambot dans l'axe du bateau, ce qui contraindrait à couper le fer de quille et souvent empêcherait de sortir l'arbre par l'extérieur car il buterait contre l'aileron de gouvernail. On déporte donc l'axe de l'ensemble arbre/moteur, parallèlement à l'axe du bateau, de quelques centimètres du côté opposé au sens de rotation de l'hélice. Ainsi, on conserve intact un élément de structure, on limite le travail, on peut dégager l'arbre sur le côté de l'aileron de gouvernail et on combat le couple de rotation de l'hélice, améliorant la marche avant et surtout la marche arrière.

L'hélice sera choisie de grand diamètre tripale et en aluminium, caractéristiques et matériau compatibles avec le programme de tels bateaux, des soucis d'économie et le matériau de la coque.

Le tube d'étambot comporte, côté intérieur, un presse-étoupe en inox de type flottant, EMCA inox ou autre. Inutile de prévoir un presse-étoupe à bain d'huile ou à graisse.

Côté extérieur, il comporte une bague hydrolube cannelée, enfoncée à force et bloquée par une vis pointeau. Un trou permet à l'eau de circuler dans la bague hydrolube et dans le tube d'étambot assurant la lubrification.

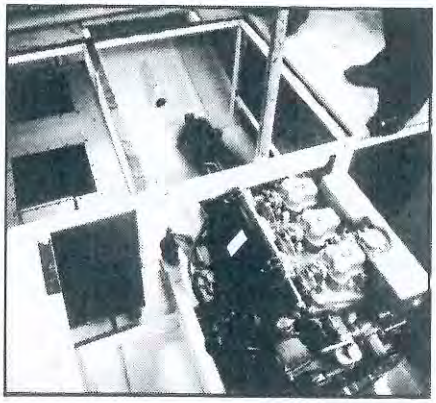
LA « CHAISE »

Si le tube d'étambot dépasse trop à l'extérieur, disons de plus de 20 cm, on soude entre le dessus de ce tube et le fond de forme trapézoïdale : la « chaise » d'arbre. Il n'est pas utile de multiplier les plats et les goussets pour raidir cette chaise qui, somme toute, ne supporte pas de gros efforts.

Multiplier les recoins, ne peut aboutir qu'à favoriser l'accumulation de salissures, à développer les points de corrosion et rendre difficile l'entretien : exactement l'opposé de ce qui est souhaitable !

Comme vous l'avez compris, mon propos dans ce Hors Série est de traiter de toute la partie chaudronnée et soudée du bateau en acier. Vous trouverez dans les numéros Hors Série 13 et 15 de Loisirs Nautiques, toutes les données sur le moteur et autres détails de finition et d'armement des voiliers *(Photos D 57 et D 58. Croquis D 141 à D 143).*

Photo D 58 : *Le moteur sous le plancher du salon de pont d'un dériveur.*



30

LE COCKPIT

Traiter de la conception du cockpit pour la vie à bord et la manœuvre n'est pas le propos de ce livre sur la construction métallique. Je vais vous parler de sa conception en tant qu'objet à construire et du respect des normes de sécurité.

LA CONCEPTION ; LA CONSTRUCTION

Un cockpit destiné à être construit en acier, doit être conçu en fonction du matériau.

Certes, il doit être commode pour la manœuvre et la vie à bord. Mais pas au détriment de la construction, ni de l'entretien !

Il faut avant tout faire simple. Si on recherche une construction économique, on peut s'orienter vers des angles parallèles pouvant sortir de pliage. Si l'ensemble ne peut pas être plié d'un seul tenant, les raccordements soudés se feront bout à bout, dans les bas de sièges (parties verticales) plutôt que dans les angles ou le fond.

Les angles seront arrondis en règlant la plieuse dans ce but.

Il faut :

- donner aux bancs une assez forte pente vers le centre du cockpit pour l'écoulement de l'eau ;
- donner au fond une pente vers l'avant ou l'arrière, pour que l'eau n'y stagne pas ;
- respecter l'interdiction de la Marine Marchande faite aux bateaux français (et à eux seuls) de percer des ouvertures d'aération ou non fermées, étanches en dessous de 40 cm à partir du fond de cockpit : il ne doit pas pouvoir y avoir d'entrées d'eau en dessous d'un niveau de 40 cm à partir du fond du cockpit. Par contre, on peut prévoir un seuil de descente plus bas avec un panneau solide, monté, sur une charnière inox et fermant de façon rapide, efficace et étanche ;
- prévoir des pattes, cornières L ou T pour la fixation d'un indispensable habillage en bois.

Le cockpit peut être en tôles minces, de 2,5 ou 3 mm avec une structure en plats ou profilés. Il peut aussi être en tôle plus épaisse, 4 mm, ce qui permet de se passer de structure et fait gagner de la hauteur sous-barrots, dans une coursive ou une cabine.

Le cockpit peut être construit tardivement pour accéder facilement à l'intérieur du bateau, si celui-ci est bâti dans un hangar. On pourra ainsi préfabriquer des morceaux d'aménagements et les faire passer par le trou ainsi laissé libre.

Le fond du cockpit doit être à 25 cm au-dessus de la flottaison en charge, pour éviter les remontées d'eau.

LES VIDANGES DE COCKPIT

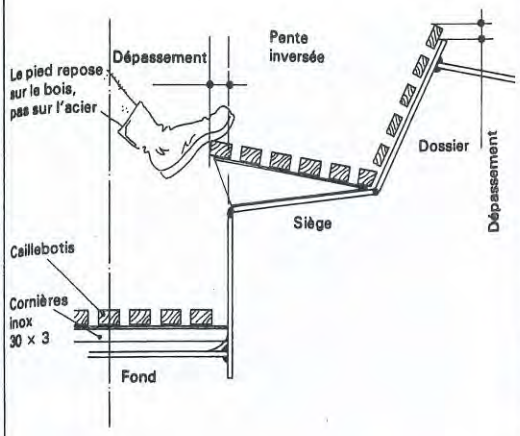
Un cockpit est dit auto-videur lorsque l'eau embarquée s'évacue dans un délai raisonnable. Pour des bateaux de taille courante et de conception classique, on trouvera des tuyaux de vidange de 40 à 60 mm de diamètre et au nombre de deux.

Ces tuyaux en acier galvanisé épais sont en deux parties. La partie supérieure d'une dizaine de cm est soudée au fond du cockpit en veillant à ne pas faire de saillie au-dessus du fond. La partie inférieure monte de 30 à 40 cm au moins, au-dessus de l'eau. Entre les deux, on disposera une section souple de tuyau industriel renforcé, serré par des colliers type « *serflex* » en inox — la partie inférieure est soudée au bordé de fond avec une doublante en 3 mm.

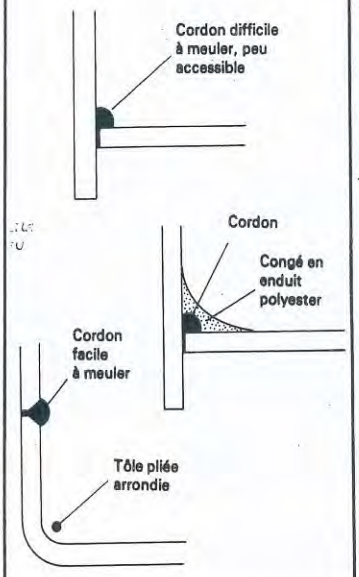
Si les tuyaux de vidange traversent la coque au-dessus de la flottaison en charge, dans le tableau arrière ou la voûte, ils peuvent être en une seule partie, de type direct. Si le cockpit touche le tableau arrière, la vidange peut se faire par deux ouvertures, avec ou sans trappes, directement découpées dans la tôle du tableau.

Dans le premier cas qui est celui d'un cockpit dont les vidanges traversent la coque sous la flottaison (cockpit central ou arrière) et dans le second cas aussi, le cockpit est supporté par deux ou quatre cornières en L de 30 × 3 à 40 × 5. Ces cornières seront disposées de façon à recevoir directement l'habillage ou des tasseaux sur lesquels les panneaux d'aménagements seront vissés. Elles seront donc percées comme les membrures et les barrots.

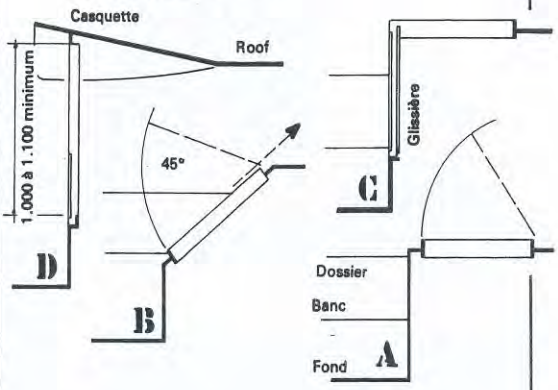
Croquis D 146 :
L'habillage de cockpit protège l'acier.



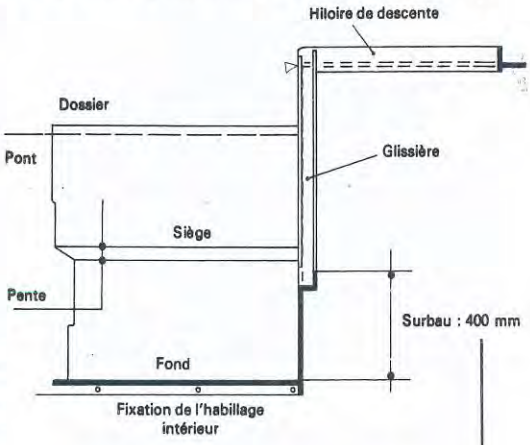
Croquis D 147 : ***Une bonne conception du travail facilitera l'entretien. Ici, un fond de cockpit.***



Croquis D 148 :
Descentes :
A : Horizontale, la pire !
B : Très humide aussi !
C : Le compromis classique
D : La plus étanche.



Croquis D 149 : ***Descente et cockpit.***



On peut aussi faire dépasser les parties basses et verticales des bancs en dessous du fond, sur une largeur de 2 à 3 cm pour la fixation de l'habillage intérieur.

Dans les tuyaux de vidange du cockpit, on peut « *piquer* » des tuyaux de prise d'eau moteur, évier alimenté en eau de mer, ou des tuyaux évacuation d'eau (évier, lavabo). On y pique aussi l'anti-siphon d'échappement moteur qui monte en col de cygne et redescend au bas du tuyau de vidange de cockpit.

L'HABILLAGE EXTERIEUR

A moins de réaliser un cockpit en acier inoxydable, on se doute bien que cet endroit où on séjourne beaucoup sera sujet aux ragages.

La peinture sera usée dans les angles et la rouille y apparaîtra si on ne fait rien pour l'éviter.

Je vous conseille d'habiller intégralement le cockpit de panneaux de lattes ou de caillebotis de bois reposant sur des pattes ou des profilés L ou T d'acier ou d'inox auxquels ils sont vissés.

Une astuce consiste à faire dépasser les panneaux de bois :

- au-dessus des dossiers pour en accroître le confort et éviter de poser le pied sur l'acier ;
- au-delà des angles intérieurs des bancs de telle façon qu'assis dans le cockpit, les pieds sur l'angle du banc d'en face, on ne touche pas l'acier mais le bois.

Un caillebotis protègera aussi le fond.

Les bancs en acier ont une pente destinée à éviter la stagnation de l'eau. Or, cette pente est mauvaise pour le confort. Il faut donc l'inverser et poser les pattes de support de l'habillage des bancs de façon à être basculé vers le dossier (en arrière) et non pas vers le centre du bateau (en avant).

LA DESCENTE

J'en ai déjà parlé dans un précédent chapitre. J'y reviens pour confirmer qu'elle doit être entourée d'inox ou de bois pour que les parties mobiles ou coulissantes frottent sur un matériau autre que l'acier peint.

La plupart des bateaux en acier sont destinés à voyager loin et surtout vers le chaud. Ceux qui veulent goûter aux charmes des tropiques ont tort d'opter pour un capot coulissant horizontal ou incliné à 45° du type « *panneaux de pont* ». Souvent il pleut, surtout la nuit, tout en faisant très chaud.

Si on est obligé de fermer la descente à cause de la pluie, l'intérieur, que nulle dorade ne saurait aérer assez, est vite transformé en sauna.

L'idéal est une descente entièrement composée de panneaux verticaux. Ce qui n'est guère réalisable que pour des bateaux à cockpit arrière, la distance entre le fond du cockpit et le dessus du roof étant insuffisante en cockpit central.

Il faut 1.000 ou 1.100 mm pour passer confortablement. Une telle descente peut rester ouverte malgré le vent, la pluie, le froid, mais aussi le soleil ! Si le roof dépasse d'une trentaine de cm (ou plus) vers l'arrière alors c'est formidable et cette disposition que j'avais choisie sur *Spanielek*, *Vagabond 1* et *Vagabond 2* est aussi parfaite pour le froid que pour le chaud ! les winches de drisses et même d'écoutes sont montés sur le dessus du roof, libérant agréablement le cockpit.

L'idéal est une descente verticale, je ne parle pas de l'échelle mais de l'entrée et des panneaux qui la composent. Le pire est une descente horizontale ou à 45°. Je le sais car je l'avais ainsi conçue sur Mangareva et nous avions déployé mille astuces pour remplacer cette option de première heure... et cela se passait en 1974, huit ans avant la mode des Trismus et d'Antoine !

Un bon compromis est la classique descente mi-verticale, mi-horizontale. Dans chaque cas, une capote ou un « *hard-top* » peuvent être adoptés. Mais la capote surtout est coûteuse et fragile. Le hard-top est encombrant mais abrite bien le cockpit.

En cockpit arrière, ce hard-top qui abrite le cockpit est toutefois une très agréable formule à condition d'être solide et très vitré.

L'habillage du cockpit est une précaution capitale qui fait s'effondrer beaucoup de critiques sur les difficultés d'entretien des bateaux en acier.

Le pont en inox est une autre bonne réponse qui d'ailleurs ne dispense pas d'habiller le cockpit pour d'évidentes raisons de confort tout aussi valables pour les bateaux en alliage d'aluminium.

Ces considérations sur l'entretien, mesures préventives ou curatives, feraient aussi bien partie du chaptire sur la conception du bateau en acier. Reportez vous-y. *(Photo D 59. Croquis D 144 à D 149).*

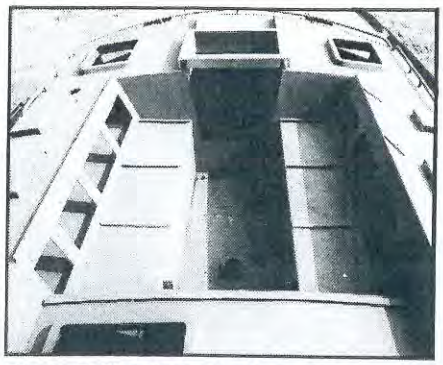


Photo D 59 : *Pont achevé de chaudronnerie. Notez sur ce voilier les cale-pieds autour du roof et les embases d'accastillage.*

31

PEINTURE, SABLAGE ET DECORATION

Vous l'avez vu, ce numéro spécial comporte un abondant chapitre sur la peinture des bateaux en acier et en alliage d'aluminium traitant des types de peintures, des systèmes et de leur application au sein de la lutte anti-corrosion.

Ci-après, je vous donne des indications pratiques sur la décoration et la peinture de la coque et du pont, sur le sablage aussi.

Voyez en complément de ces lignes les chapitres sur la corrosion de l'acier et de l'aluminium, les chapitres sur les compatibilités des métaux, l'effet galvanique, les anodes.

LE SABLAGE EXTERIEUR

Voici des indications pratiques pour sabler une coque pontée en tôles brutes. En principe, sauf maladresse du propriétaire une coque réalisée en tôles prépeintes ou électro-zinguées ne nécessite pas de sablage.

● Le sablage nettoie et désoxyde l'acier. De plus, il lui confère un grain d'accrochage pour les peintures, que le brossage et le meulage ne donnent pas aussi bien. Brosser et meuler pour décaper la tôle ne peut s'appliquer qu'à de petites zones, comme les brisures par exemple.

● Le matériel de sablage se compose d'un compresseur de 40 cv minimum, d'une sableuse constituée d'un pistolet de sablage et d'une cuve ; d'un casque protecteur avec ou sans alimentation en air pur ; de gants de cuir recouvrant les avant-bras.

● Le sable doit être bien sec, d'une granulométrie contrôlée, et exempt de rouille. On peut récupérer le sable en disposant des bâches sur le sol où il retombe lors des premiers sablages. Il faut tamiser le sable ainsi récupéré et n'utiliser que les grains d'un diamètre suffisant. Lorsque des traces d'oxydes apparaissent dans le sable, il ne peut plus être réutilisé sans danger.

Voyez les indications sur la buse et les types de sables dans le chapitre sur la corrosion. Les quantités de sable à utiliser varient selon le matériel et l'habileté de l'opérateur, et dans les grandes proportions de 15 à 70 kg de sable par m² !

La buse doit être tenue à environ 20 cm de la tôle. On opère par balayage latéral en se déplaçant de haut en bas. En gros, on peut sabler 3,2 m² en une heure.

Il faut combiner astucieusement le sablage, le dépoussiérage et la peinture de la première couche de peinture saturée en zinc. L'idéal est d'être trois : le sableur, le peintre, et l'aide qui récupère et tamise le sable, et remplit la sableuse selon un rythme que les opérateurs mettront d'eux-mêmes au point.

Il ne faut pas sabler ni peindre par plus de 80 % d'humidité de l'air.

LE SABLAGE INTERIEUR

C'est certain, sabler l'intérieur du bateau est un rude travail à cause de la poussière qui s'y soulève et parce que l'évacuation du sable est difficile. C'est pourquoi j'ai suggéré de sabler l'intérieur par étapes entre les membrures en tendant une bâche entre les côtés d'un couple pour limiter une zone sablée puis dépoussiérée, le reste demeurant à peu près propre, notamment la partie déjà sablée et peinte ! Ainsi, partant de l'avant ou de l'arrière, on sable par exemple la surface comprise entre l'extrémité et le deuxième ou troisième couple. On enlève le sable et on peint. On laisse la bâche et on en pose une autre deux couples plus loin. Et on recommence. Je conseille aussi de sabler la coque à l'envers sans son pont, ou à l'endroit avec le pont mais sans la quille. On peut très bien travailler en *« pièces détachées »* ; coque puis pont, et quille faite à part. Les zones de liaisonnement sont faites ensuite au sable ou à la brosse rotative.

Les progrès du matériel et des peintures n'excluent pas de brosser l'intérieur avec une brosse métallique rotative, puis avec des tourets. On finit les angles à la main ! Le niveau de netteté atteint ne sera pas SA 3. Il peut être SA 2 à l'intérieur.

LES PEINTURES

On ne peut pas faire de bilan clair sur les peintures inhibitrices ou stabilisatrices de la rouille. Concernant les peintures, en plus de ce qui figure au chapitre de la corrosion de l'acier, on peut dire :

● que sur le pont, on évitera les peintures de finition à base d'époxy car elles sont cassantes. Par contre, elles sont parfaites ailleurs qu'en finition du pont, y compris en protection du pont.

● qu'à l'intérieur, on peut utiliser des peintures glycérophtaliques. Elles sont fragiles aux ragages, mais parfaites pour l'intérieur.

● il faut parfaitement respecter les temps de *« séchage »* entre couches et les indications d'hygrométrie et de température d'emploi.

NOTES SUR LES PIGMENTS

Les teintes claires « agrandissent » le bateau et escamotent les défauts de surface.

Les teintes foncées affinent la silhouette mais font ressortir les défauts si elles sont brillantes.

Les peintures brillantes sont d'un entretien plus facile que les peintures mates auxquelles les salissures adhèrent plus vite. Les peintures mates atténuent les défauts de surface.

Les peintures *« rompues »*, brun, rouge ; brique, bleu foncé, vert foncé, vieillissent moins bien que des teintes vives ou claires.

Les teintes sombres ne renvoient pas les rayons du soleil et chauffent l'intérieur du bateau. Ceux qui iront dans des pays très ensoleillés éviteront un bordé et surtout un pont de couleur foncée. Le pont ne doit cependant pas être peint en blanc, ce qui fatigue les yeux. On choisira des teintes pastel, beige, gris clair, bleu clair.

Bien que ce ne soit pas le sujet, je dirai aussi que les voiles de couleur sombre absorbent les ultraviolets (spi, big boy...). Leur tissu vieillit bien plus vite que des tissus de couleur claire !

LES ANTIFOULINGS

« On dit » que les antifoulings de couleur foncée sont plus efficaces que les clairs. D'une part, pour leur composition chimique et sans doute parce que les herbes et animaux n'aiment pas l'ombre.

L'antifouling étant là pour éviter que les salissures qui flottent à la surface de l'eau des ports collent à la peinture du bordé, il faut tenir compte du clapot qu'on trouve dans les ports et de l'état de charge du bateau. L'antifouling doit monter à 15 ou 20 cm au-dessus du niveau moyen de flottaison.

Pour les bateaux en acier et surtout en aluminium, il convient d'éviter certains antifoulings, au plomb par exemple. D'ailleurs, ces antifoulings sont maintenant interdits dans beaucoup de pays, pour cause de pollution.

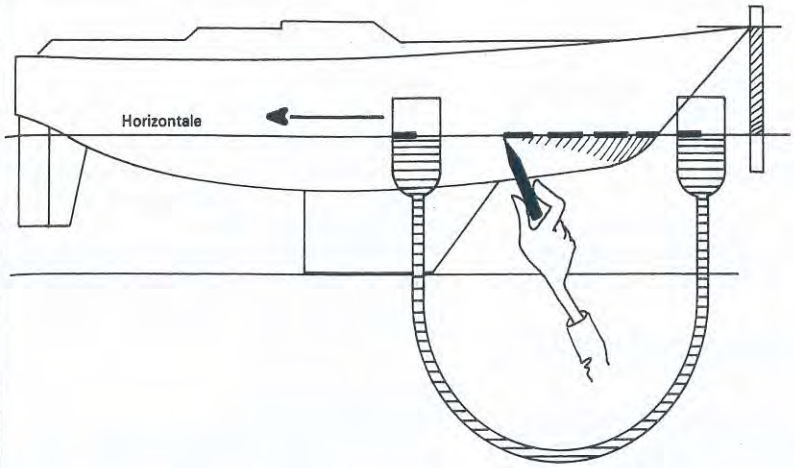
Il existe des antifoulings spéciaux pour chaque zone de navigation, zones subtropicales entre autres.

FINITIONS

Pour faciliter l'entretien des angles en creux, je vous conseille d'y faire un congé en enduit polyester. Le cordon de soudure qui s'y trouve retiendrait les salissures s'il n'était pas enduit.

Brosser le cordon pour le nettoyer ré-

Croquis D 150 : *Tracé de la flottaison à l'aide d'un niveau à eau.*



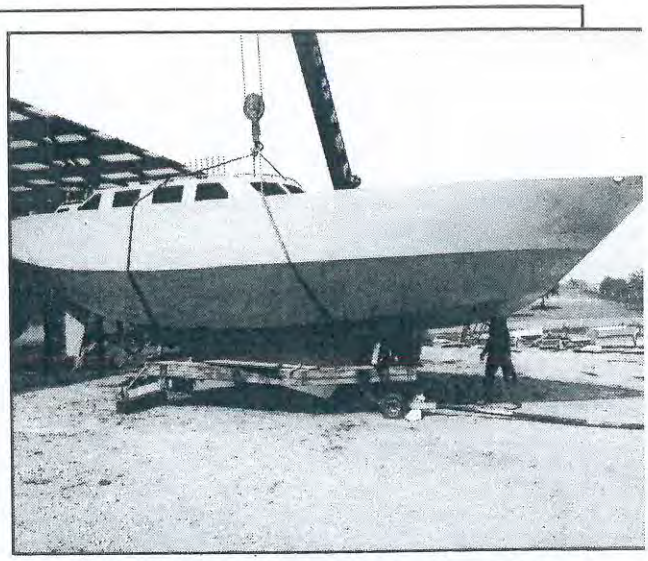


Photo D 60 : *Cette coque pontée est livrée avec ses peintures de protection. Il peut rester ainsi plusieurs mois.*

gulièrement le mettrait peu à peu à nu. L'enduit évite cela.

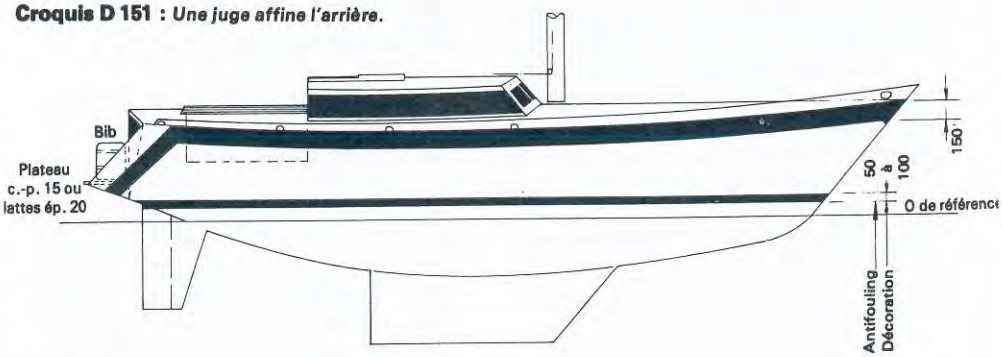
A l'intérieur du bateau, il faut soigner la circulation d'eau en pratiquant des anguillers.

Il ne faut condamner aucune zone en l'enfermant derrière une tôle soudée. Au moins faudra-t-il pratiquer une trappe boulonnée dans la tôle soudée.

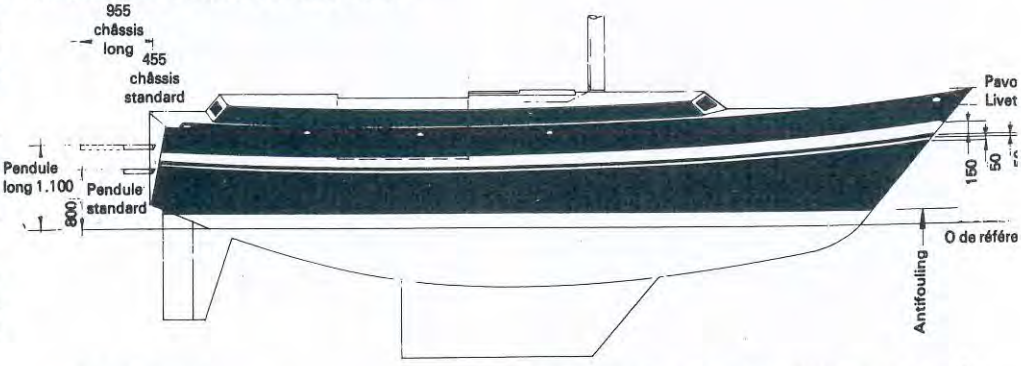
De toute façon, il ne faut absolument jamais condamner les volumes d'accès difficile, tels qu'une partie avant ou arrière de la quille, l'aileron de gouvernail, des tubes d'attaque, par de la mousse de polyuréthane. Cette mousse n'est pas totalement étanche. Tôt ou tard, l'humidité s'y mettra, soyez-en sûr ! Et avec cette humidité, commencera la corrosion !

En finition de décoration, j'attire votre attention sur l'importance des lignes qui affinent la silhouette. Par exemple, il est bien de peindre l'hiloire de roof et le devant de roof d'une peinture foncée faisant « disparaître » les hublots et les fondant en une ligne longitudinale agréable à l'œil. Il faut faire preuve d'imagination en ce chapitre !

Croquis D 151 : *Une juge affine l'arrière.*



Croquis D 152 : *Cotes du châssis Atoms.*



PEINTURE DE LA FLOTTAISON

Il existe deux techniques principales permettant de bien peindre la ligne de flottaison qui est horizontale. Si on se contente d'une différence de couleur entre l'antifouling et le bordé, il suffit de définir une ligne. Si on ajoute une ligne décorative entre l'antifouling et le bordé, il y aura deux niveaux à définir. En projection horizontale, cette bande sera d'une largeur constante.

Mais en réalité, la largeur réelle évolue. Elle est plus faible à l'avant qui se présente presque perpendiculairement à la visée, et très large à l'arrière qui est très incliné. Du fait de l'aplatissement des formes de la voûte.

Dans tous les cas, on peint d'abord le bordé, puis les bandes de décoration et enfin l'antifouling.

a - Méthode du niveau à eau

Le bateau est bien calé horizontalement d'avant en arrière et verticalement de droite à gauche. On définit le niveau du dessus de l'antifouling ou de la bande de flottaison au fil à plomb à partir de l'avant du bateau ou par rapport au niveau d'arrivée sur l'étrave des brisures.

On place un des récipients du niveau à eau, dont la surface est graduée, au niveau à tracer. Et on déplace le second récipient contre le bordé en veillant à ce que le niveau de l'eau soit le même dans les deux vases.

On obtient ainsi une horizontale parfaite et on peut lui mener des parallèles.

L'arrière de la flottaison est plus difficile à tracer. Il faudra y être méticuleux. On trace une suite de petits traits sur le bordé peint. Puis on colle un ruban d'adhésif crêpe du côté déjà peint. On peint la nouvelle zone définie. On ôte l'adhésif avant que la peinture soit sèche, mais en le laissant assez de temps pour que la peinture ne soit plus coulante.

b - Cordes à piano

Une seconde méthode plus discutable consiste à planter quatre poteaux sur le côté du bateau qui doit seulement être bien vertical latéralement. Il peut avoir de la pente d'avant en arrière, et c'est l'avantage de cette formule. On mesure alors cette pente et on fixe sur les poteaux deux cordes à piano très tendues parallèles entre elles et à l'axe du bateau, et avec la même pente, s'il y en a une, avec l'horizontale.

Une personne « *vise* » l'œil au niveau des cordes à piano. L'autre fait des petits traits sur le bordé selon les indications du « viseur ». Plus haut, plus bas, etc...

Ces deux méthodes permettent de joliment tracer le niveau de la flottaison peinte d'après les indications de l'architecte de votre bateau. Attention aux niveaux de flottaison lège (vide), en charge, et au « *barême* » d'enfoncement que je vous ai résumé au chapitre sur le lest et l'équilibrage.

Un bateau bien peint, c'est de la politesse pour les autres, et ça fait plaisir à soi-même. C'est si joli, une photo d'un bateau bien décoré.

Maintenant, il faut laisser libre cours à son imagination. Tous les coups et toutes les folies sont admis ! *(Photo D 60. Croquis D 150 à D 152).*

32

LES AMÉNAGEMENTS

Je ne vais pas traiter de la conception des aménagements, mais de ce qui est particulier aux bateaux métalliques. Les aménagements doivent être amovibles en grande partie. Ils doivent être conçus pour être démontables et rendre l'accès au bordé commode, aussi doivent-ils être construits dans une chronologie rigoureuse et inverse de celle du déshabillage qu'il faudra faire pour visiter le bordé.

Je ne doute pas que les peintures de l'intérieur puissent être bien faites. Dans ce cas, elles dureront une large dizaine d'années. Mais lors d'un abordage, d'une réparation ou d'une modification, on peut avoir besoin d'accéder au bordé pour y travailler l'acier et le repeindre. Et puis, comme dans une maison, on peut avoir envie de changer la disposition des aménagements d'une cabine ! On en profitera pour démonter les aménagements de ce poste-là, et pour repeindre le bordé. Rarissimes sont les obligations de repeindre tout l'intérieur et de démonter tous les aménagements. J'en connais quelques cas, très rares. Mais les raisons de ces gros travaux étaient des bêtises que l'expérience actuelle ne rend plus possible pour ceux qui cherchent tant soit peu à s'informer auprès de sources compétentes et expérimentées ! Se méfier de ceux dont la connaissance est seulement théorique, même approfondie !

CHRONOLOGIE

Tout d'abord la structure aura été percée pour recevoir les vissages des aménagements. S'il n'y a pas d'élément de structure là où on veut fixer une cloison, on soude les pattes percées sur les lisses plutôt que sur le bordé.

On évitera de souder trop de bases d'aménagements en profilés d'acier doux car ce sera un travail plus long qu'avec des tasseaux de bois et ce sera plus lourd. On peut utiliser des cornières de 15 ou 20 mm en inox si on le désire. On choisira de l'inox 304.

- On commence par les cloisons et demi-cloisons transversales,
- on pose des tasseaux contre toutes les membrures en intercalant, entre le bois et le métal, un joint synthétique évitant le pourrissement du bois par l'eau de condensation qui pourrait s'écouler par instants (pendant les travaux, l'hiver). Ces tasseaux dépassent des fers pour que le vaigrage ne touche pas le métal.

- on visse sur des tasseaux les cloisons longitudinales aux cloisons transversales déjà en place. On dispose ainsi les façades de meubles.
- puis, de la même façon on dispose les façades d'équipets, les encadrements de placards, etc.

Tout ce qui est vertical et longitudinal

- on met en place les dessus de banquettes, cuisine, meubles, amovibles ou pas.

Le bois est traité au fur et à mesure de sa pose définitive au Bondex non gras ou autre produit fongicide.

- puis on fabrique les petits compartimentages des équipets.
- on redécoupe au fur et à mesure la mousse d'isolation (voir ce chapitre) qui, jusque-là, était en grands panneaux pour éviter la condensation pendant les travaux. Et on place les panneaux ainsi coupés à leurs bonnes dimensions entre les cloisons et les meubles. Le principe étant que pour accéder au bordé entre deux meubles ou au fond de l'un d'eux, il suffit d'ôter proprement un panneau et non d'arracher une partie d'une vaste surface qui soit à cheval sur plusieurs éléments différents.

- une fois les meubles achevés, on place le vaigrage qui habille et retient la mousse.

Le vaigrage, comme la mousse, est en petits panneaux et ne se trouve pas derrière plusieurs éléments différents. Il s'encastre entre les meubles et entre les cloisons.

On le fera en contre-plaqué ou en lattes. En lattes, ce sera plus facile. Voyez le chapitre sur l'isolation.

- les planchers sont encastrés entre les meubles. On peut les fabriquer au fur et à mesure qu'on pose les façades de meubles. Jamais il ne faut d'abord poser les planchers puis bâtir les meubles sur eux. A la différence d'une maison, les planchers, les fonds de coffres et le vaigrage sont mis en place après la fabrication des meubles, des plus grands (couchettes, placards) aux plus petits (équipets).

LES MATÉRIAUX

Ainsi, il y aura un minimum d'éléments à démonter pour accéder au bordé.

Les aménagements sont faits en contre-plaqué CTBX. Les meubles en 10 mm ; les planchers en 15 mm ; le vaigrage en 5 mm ; les cloisons en 10 ou 15 mm ; 19 mm pour les grands bateaux de plus de 12 mètres.

Ils sont vissés avec des vis laiton ou inox au molybdène dans des tasseaux en pin de 15 x 15 ou 20 x 20.

Les aménagements sont pré-montés. Puis on les démonte, on traite le bois au Bondex (non gras), on peint et remonte les panneaux.

On peint alors la finition de l'extérieur des meubles. On peut visser et coller les éléments définitifs = cloisons transversales, façades des meubles principaux. Le reste est seulement vissé.

Les planchers et panneaux amovibles (dessus de banquettes...) seront assurés en place par des loqueteaux ou des taquets excentriques.

L'ISOLATION

C'est un point capital du confort thermique et phonique, mais aussi de la bonne santé des peintures intérieures, du bordé et des vivres.

Avec l'aération qui complète l'action de l'isolation et que je traite au chapitre suivant.

Isoler un bateau métallique (conducteur thermique) est indispensable, nécessaire !

Voici le principe de la condensation. Il s'agit d'une différence de pression due à une différence de température. La condensation se forme du côté le plus chaud d'un matériau. Prenons le bateau l'été. La nuit, il a fait frais. A l'intérieur du bateau, l'air est plus frais que dehors dès que la température extérieure monte. Vers 9 ou 10 heures, apparaît une condensation plus ou moins forte selon la différence de température nuit-jour et selon l'hygrométrie.

Cette condensation se fait à l'extérieur du bateau. Elle est très gênante si on veut peindre le bateau. On la réduit en mettant un chauffage dans le bateau, la nuit.

Le soir, l'hiver surtout, l'air sera plus froid dehors que dedans. Une « *rosée* » apparaîtra alors, mais à l'intérieur du bateau.

Lorsque vous vivez dans le bateau, l'intérieur est plus chaud. La condensation se forme à l'intérieur.

Une seule solution = mettre les deux faces du métal, tout le métal donc, à une seule température. Comme on ne peut pas mettre le bateau dans une « *housse* », on met l'isolation à l'intérieur. L'acier ou l'aluminium (car les alliages d'aluminium étant plus conducteurs que l'acier sont encore plus sujets à la condensation !) isolé de l'air chaud de l'intérieur du bateau sera tout à la température extérieure et il n'y aura pas du tout de condensation !

Des gens de peu de logique ont dit, dans le passé, qu'il fallait laisser une couche d'air entre l'isolant et le métal. Non, voyons ! Car cette couche d'air est plus chaude que l'air extérieur et il y a de la condensation, c'est prouvé ! Non, l'isolant se plaque contre le métal !

Pour l'aluminium, si on veut on peut le coller. Pour l'acier, on l'encastre entre les

éléments de structure et l'expérience montre qu'il tient tout à fait bien ainsi !

L'isolant ne peut en aucun cas être de la laine de verre. Elle pompe l'humidité de l'air. Ce sera une mousse synthétique. Soit du polystyrène, soit du polyuréthane. Je préfère le polystyrène qui n'a pas tendance à se transformer en poussière sous les vibrations et variations de température. On trouve du polystyrène ignifugé conçu pour le bâtiment et qui convient bien. Mais s'il ne brûle pas, il dégage des gaz nocifs. Aussi, ma préférence va-t-elle en valeur absolue vers le PVC. Cette mousse de polychlorure de vinyle ne brûle pas, ne dégage pas de gaz nocifs et est étanche même à la vapeur d'eau. Comme elle coûte plus cher, on se la procurera en panneaux déclassés pour défauts d'équerrage et d'aspect. On choisira les densités les plus faibles = 33, 40 ou 55 kg/m3.

En France, on la trouve sous le nom de Damicell ou Klegecell, Airex en Suisse ou Recticell en Allemagne, Klegecell ailleurs. C'est d'ailleurs un procédé français. La mousse de PVC pourra être choisie pour isoler la cuisine, les cabines. La mousse de polystyrène pourra être préférée, à cause de son prix, pour les endroits secondaires.

On isole ainsi le pont, le bordé supérieur jusqu'à 10 ou 20 cm sous la flottaison, et la voûte arrière. On n'isole pas la coque sous la flottaison car l'eau, fraîche l'été et tiède l'hiver, est un excellent régulateur thermique.

La mousse est coupée au couteau (mal aiguisé) en rectangles encastrés à force entre les lisses. Le pont est le plus exposé. Il doit aussi être le mieux isolé. On remplit de mousse tout l'espace entre les tôles et le vaigrage. Le chant des barrots est habillé de feuilles de mousse de 2 à 3 mm d'épaisseur, vendues en rouleaux. Le vaigrage est vissé dans les tasseaux placés contre tous les barrots à travers ces feuilles de mousse et retient toute l'isolation du pont qui est donc totalement étanche.

Dans le haut du bordé, le problème est déjà moins important. On encastre entre les lisses une épaisseur de mousse de 3 à 4 cm. Plus, si on veut. Ce n'est pas nécessaire sauf peut-être dans les cabines.

Le vaigrage, lui, est posé contre les tasseaux fixés aux membrures. Ainsi, il pourra y avoir un espace entre la mousse et le vaigrage. Mais non pas entre le bordé et la mousse ! C'est sans doute de là que vient la confusion !

Les membrures et surtout les tirants sous cadènes et tous les fers qui risqueraient d'apparaître à l'intérieur doivent être consciencieusement emmaillotés de bandes de mousse et habillés de bois. Aucun fer, absolument aucun, ne doit être apparent au-dessus de la flottaison et surtout au niveau du pont. Tous doivent être isolés et habillés de bois !

Je ne suis pas favorable à la projection de mousse contre le bordé, méthode qui rend l'accès à la tôle difficile en cas de nécessité de réparation !

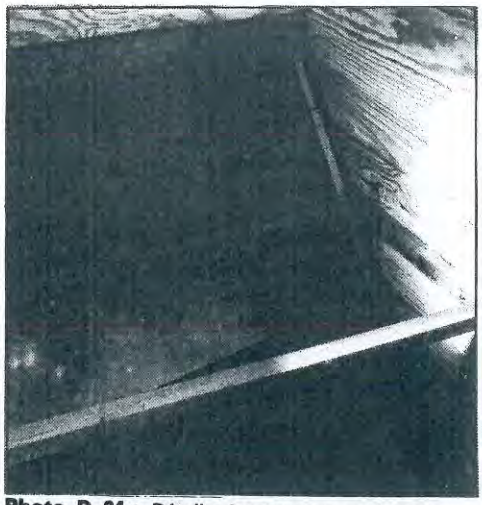


Photo D 64 : *Détails des tasseaux qui vont recevoir une couchette.*



Photo D 65 : *Aménagements à leur premier stade. De la mousse est encastrée entre les éléments de structure sur deux épaisseurs.*

HABILLAGE DU ROOF ET DU PONT

Habiller (vaigrer) le pont et le roof est un travail léger mais difficultueux à cause de la multiplicité des découpes. Voici quelques idées pour se faciliter le travail autant que possible, ce qui est ma préoccupation principale et il faut reconnaître que c'est dès la conception du bateau que l'architecte facilite ou complique la tâche des propriétaires ! Alors autant la faciliter !

Que ce soit en bois, contre-plaqué, polyester ou métal, les hiloires de roof sont un casse-tête chinois à habiller, isoler, vaigrer. A l'extérieur, les vitrages fixes font saillie, le matériau dont est faite l'hiloire est découpé à chaque hublot et laisse voir son épaisseur... plus ou moins régulièrement taillée ! A l'intérieur, les écrous et vis du boulonnage obligatoire et réglementaire dépassent. Petits reliefs vaguement ronds, espacés d'à peu près 5 à 7 cm. Pas gai tout ça ! Ne rien mettre pour cacher tout cela, ou mettre très peu de chose pour « *habiller sans cacher* » et voici que goutte la condensation du petit matin. Et, surprise, il y a toujours, juste en dessous, ou bien votre couchette, ou vous, ou votre petite camarade que vous aviez eu tant de mal à venir voir votre « yatche » ou bien encore les cartes de la table à cartes amoureusement vernie.



Photo D 62 : *Un tasseau de vaigrage fixé contre une membrure. Il n'y a pas encore de mousse entre les lisses.*



Photo D 63 : *Détail de vaigrage (en haut à droite), d'isolation (en bas à droite), de cloison (à gauche) et de tasseaux.*

Mettre quelque chose et se pose le double problème : quoi et comment ?

Va bien falloir trouver quelque chose !

La découpe de l'hiloire, sa structure

Tout commence là, selon la façon dont l'hiloire est conçue, découpée et structurée, tout changera au moment du vaigrage.

En principe (!) la construction acier moderne se fait par le bordage à l'envers d'une structure où sont déjà en place les barrots de pont et de roof. Une fois le retournement effectué, on borde les passavants et les plages avant et arrière du pont. Puis on borde le toit du roof, la séparation qui fait la face arrière du roof, l'avant du cockpit et, en général, la descente. Ensuite se bordent les hiloires ainsi que le devant du roof, ainsi que l'arrière

si le cockpit est central. On garde parfois le cockpit pour la fin, de façon à différer la pose du moteur (qu'on peut le plus souvent passer par la partie horizontale de la descente) et faciliter le passage des cloisons découpées ou des feuilles de contre-plaqué.

A ce sujet, je signale qu'il suffit une fois l'avant du roof, ou un des côtés posés, de couper 5 cm au milieu de la séparation entre deux découpes de hublots pour passer en largeur les feuilles de contre-plaqué (environ 1,25 m). On ressoudera cette petite bande en pleine tôle. Surtout pas dans le bas ou le haut des hublots ! Même bien après avoir fait la peinture. En prenant ces précautions, cela n'entraîne aucune mauvaise suite.

Voyez sur les dessins, les différentes façons de découper la tôle au bas de l'hiloire... en haut il n'y a pas le choix ! Et la structure de cette zone.

PEINDRE - VITRER

Dès que le sablage a été fait et la première couche de peinture de protection passée (au zinc, merci !) ou dès que la pré-peinture a été dégraissée, retouches faites, Wash-Primer puis première couche passée, l'immédiat souci est de mettre hors d'eau l'intérieur du bateau. A ce stade, les trous sont percés pour tout ce qu'il y a à boulonner (poulie à plat pont sur leurs omégas, capots de pont sur leurs supports, altu ou plexi sur les découpes de roof, de pont et de coque, guindeau, etc...), toutes les soudures de pont sont faites, toutes les découpes aussi, les calepieds et mains courantes en inox soudés, les ronds d'inox soudés sur le pavois, enfin tout ce qui se perce, se soude, se meule, se découpe ! L'extérieur et l'intérieur sont peints, le moteur posé et ligné.

Avant de fixer les vitrages puis d'aménager, il faut peindre. Mais pour peindre au chaud et au sec à l'intérieur, il faut poser les vaigrages !!

Aussi peint-on les 10 cm autour des vitrages fixes et des supports de panneaux de pont. « Dans les règles de l'art », selon les conseils du fournisseur et en respectant les temps de séchage entre couches et les températures et hygrométrie autorisés, on applique sur ces 10 cm la totalité des couches de peinture de protection et de finition. Sur la coque, on n'applique pas la dernière ou les deux dernières finitions qui seraient déjà abîmées par les derniers travaux. Mais sur ces 10 cm, absolument toute la gamme est peinte. Pensez qu'en général on gagne à souligner d'une couleur soutenue les hiloires de roof où les découpes de vitrages apparaîtront en sombre. Une teinte plus soutenue, harmonisée à celle des « *altu* » ou « *plexi* » sera bienvenue et affinera la ligne du bateau.

Cette peinture posée, vous découpez, percez et boulonnez les vitrages fixes. Vous verrez tout à l'heure que, selon le type d'habillage choisi, il faut déjà penser à laisser, ou pas, dépasser 4 à 6 vis à métaux, à l'intérieur du bateau. Une autre fois, nous parlerons de la pose de ces vitrages fixes. Beaucoup de Rubson, ou de joint Sika. C'est le secret de l'étanchéité. On en met autour de la découpe sur 3 cm de large, le recouvrement du vitrage fixe sur la découpe. On en met aussi sur la vis avant de l'enfiler dans le trou et de placer de l'autre côté la rondelle inox et l'écrou. Vis, rondelle et écrou sont en inox au molybdène = 18-10 ou 18-12 MO. La vis est à tête plate ou ronde large mais non fraisée. Naturellement, on peint aussi 10 cm côté intérieur ! Surtout ne finissez pas « *proprement* » l'extérieur de ces 10 cm. Etalez et tirez les peintures depuis la découpe vers « *l'extérieur* ».

Les vitrages fixes sont posés !

Diverses tâches vont suivre : les aménagements, l'équipement, la finition.

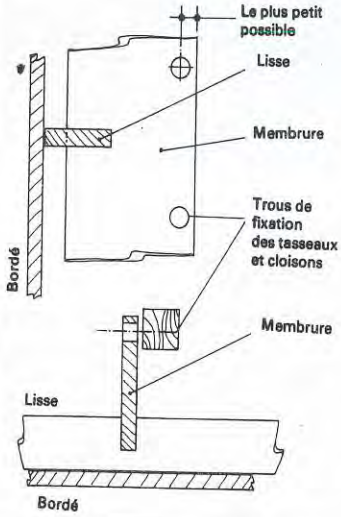
Et un jour il faudra « se les habiller », ces côtés de roof, ces hiloires !

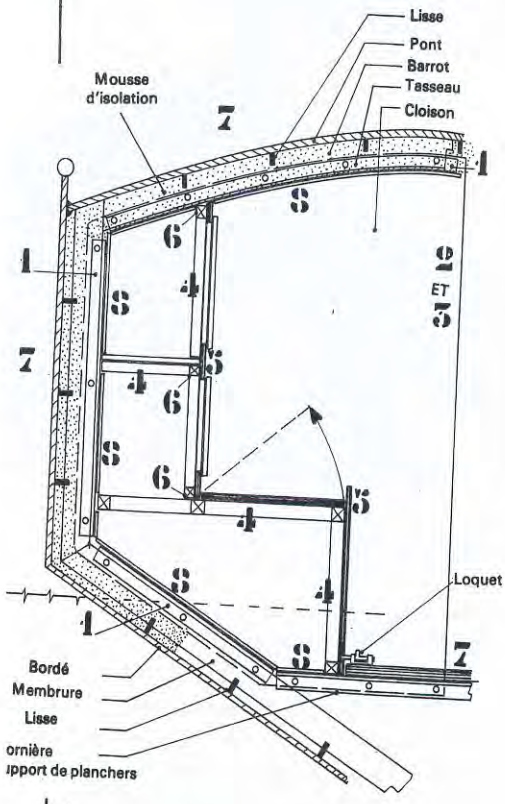
HABILLER - ENCADRER

En gros, il faut :

- cacher la découpe,
- tendre une surface agréable à l'œil par-dessus la tôle, sa structure, les boulons.

Croquis D 155 : ***Structure du bordé sur lisses.***

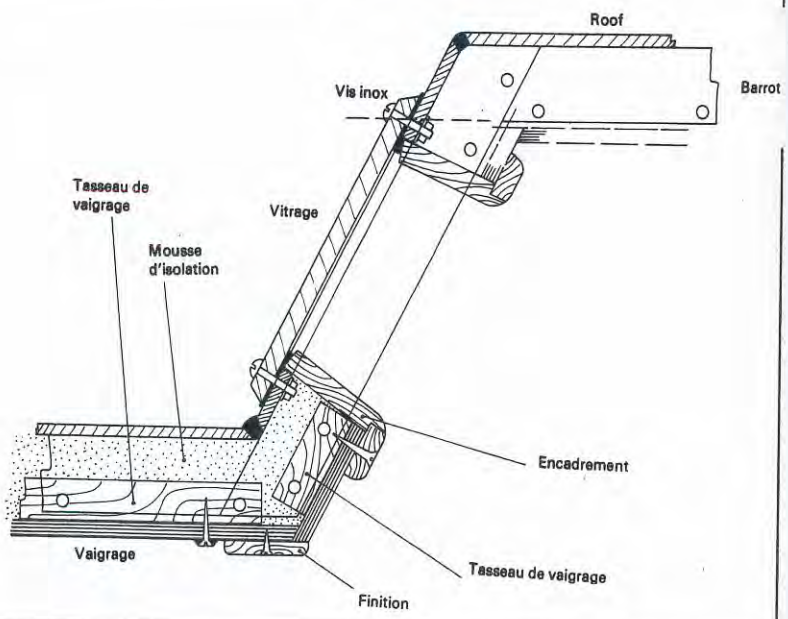


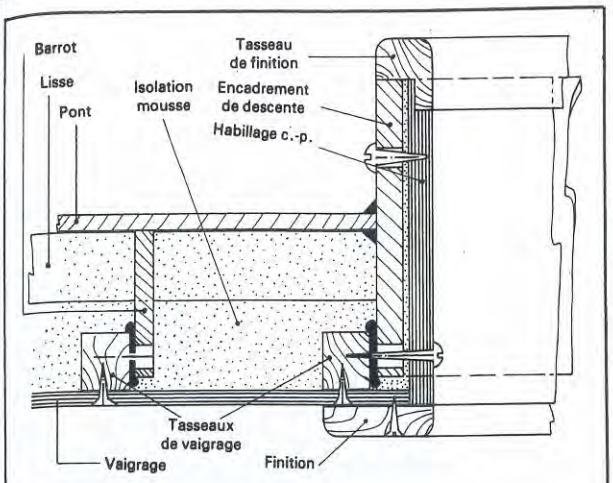


Croquis D 154 : ***Chronologie de construction des aménagements.***

1. Pose des tasseaux de vaigrages 20 × 20.
2. Cloisonnement transversal principal : cloisons.
3. Cloisonnement transversal secondaire : demi-cloisons.
4. Tasseaux d'aménagements.
5. Façades de meubles et d'équipets.
6. Tasseaux secondaires sur ces façades.
7. Plancher et découpe définitive des plaques de mousse qui ont été placées juste après la finition des peintures mais laissées en grandes surfaces ne correspondant pas toujours à la répartition des aménagements.
8. Vaigrage et fonds d'équipets se font en dernier.
Reste ensuite la finition de l'ensemble.

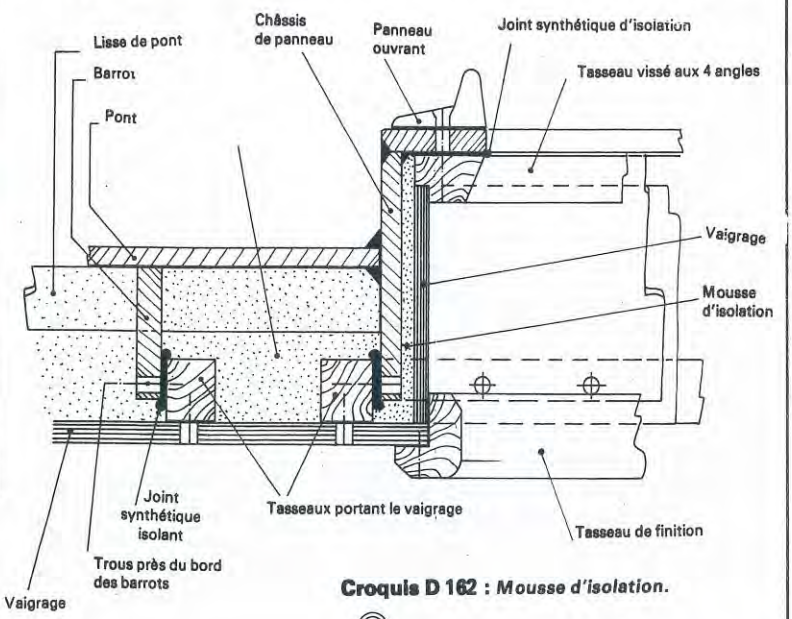
Croquis D 156 : ***Vaigrage du roof et encadrement de vitrage.***



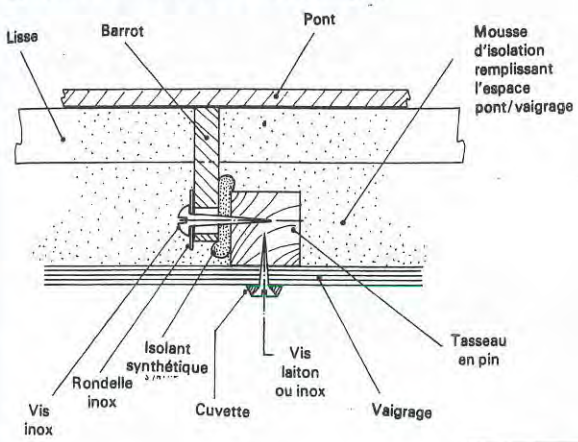


Croquis D 157 : ***Habillage de la descente.***

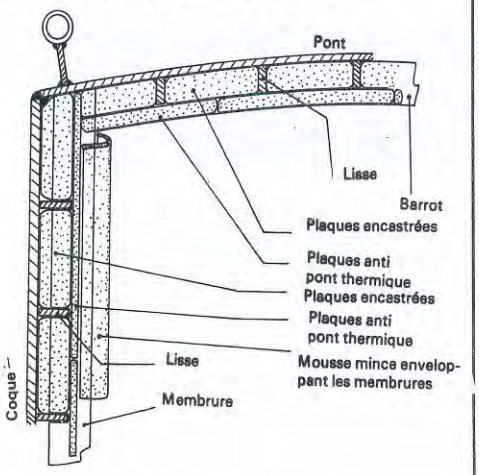
Croquis D 158 : ***Vaigrage de pont. Finition du vaigrage autour d'un panneau de pont.***



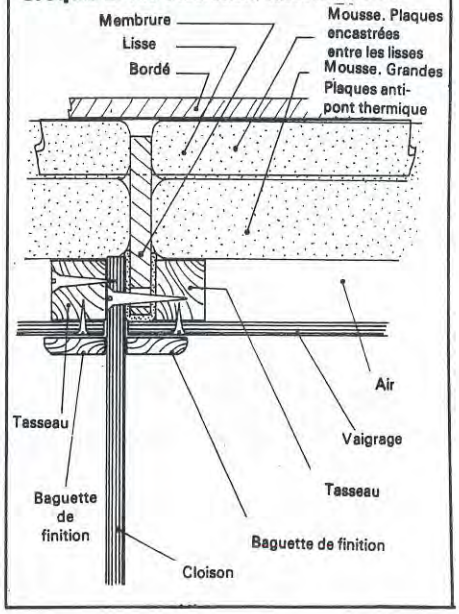
Croquis D 159 : ***Ni les tasseaux ni le vaigrage ne doivent toucher la structure métallique.***



Croquis D 162 : ***Mousse d'isolation.***



Croquis D 160 : ***Isolation, tasseau, cloison.***



● mais tout cela doit rester démontable si c'est « *en dur* », ou facilement arrachable.

● en tout cas, on doit pouvoir accéder aux boulons du vitrage pour remplacer une vitre cassée, étoilée ou rayée, pour refaire l'étanchéité.

● donc il faut « encadrer » par l'intérieur, la découpe de l'acier.

● il faudra aussi combattre la condensation : isoler.

Les différentes méthodes sont :

La pose d'un revêtement mou par collage, Buflon ou moquette. Evitez les colles époxyde (Araldite) trop « *solides* » qui rendraient l'arrachage impossible et les colles néoprène pour la raison inverse ! Ce revêtement est posé par dessus une couche de mousse de polystyrène (d'épaisseur 2 à 3 mm en rouleau). Il peut être pincé autour des écrous par un cadre en bois ou polyester moulé.

On peut aussi arrêter proprement ces matériaux au bord de la découpe, la moquette en léger débord après avoir ôté de petits ronds à chaque écrou. Pour masquer le boulon et le trou dans la moquette, on enfile sur les écrous des caches en plastique faits pour cet usage et vendus dans les commerces de bricolage et décoration d'appartement.

Le lattage = vous posez des tasseaux formant un cadre autour de l'hiloire et des découpes de hublots sur ce cadre, vous tendez des lattes en long ou verticales. Ces lattes sont en principes du type « *frisette* » de pin ou de mélèze, à chevauchement. Ce qui permet un clouage (laiton) masqué par la latte suivante. Un cadre en bois dissimule la découpe du métal, celle des lattes et les écrous. Entre lattes et métal, une épaisseur maximum de mousse ignifugée (polystyrène) ou ininflammable (PVC-Damicell, déclassé) va éviter la condensation.

Le contre-plaqué : un cadre de tasseaux en pin recevra un bandeau de contre-plaqué qui, tout comme les lattes du choix précédent, retient une forte épaisseur de mousse. Des encadrements en bois (pin, résineux, acajou, teck, padouk, etc) assureront le rôle décrit ici avant ainsi que l'esthétique.

L'habillage « *mou* » est le plus facile surtout si vous pouvez vous procurer les caches en plastique dissimulant, sans les rendre inaccessibles, les écrous fixant les vitrages.

Le lattage permet encore une certaine « *souplesse* », c'est-à-dire une certaine maladresse dans les découpes. Des baguettes habilement fixées masqueront les bords de ces panneaux difficiles à réaliser.

Le contre-plaqué demande la fabrication d'un gabarit en carton avant de découper le bois si on ne veut pas gâcher des panneaux !

Notez enfin :

- que le devant de roof s'habille comme les côtés,
- que si un cadre amovible permet l'accès aux écrous du vitrage, l'habillage de l'hiloire se fait avant le vaigrage du toit de roof, des faces avant et arrière du cockpit, avant l'habillage des passavants.

Mais naturellement, pour ne pas laisser la condensation mouiller l'intérieur du bateau pendant les travaux, vous aurez pris soin de poser des plaques de mousse entre les éléments de la structure du roof, du pont, des passavants... et si possible des hiloires de roof. Ces plaques, primitivement coupées en grands panneaux, seront ensuite séparées selon les nécessités d'accès du métal en fonction du compartimentage, des placards et des équipets. Pour les aménagements, lire le Hors Série 14 : « Les aménagements intérieurs, technique et pratique ». *(Photos D 62 à D 65. Croquis D 154 à D 162).*

33

L'AÉRATION

En complément de l'isolation, une bonne aération est un atout capital pour conserver en bon état, l'intérieur du bateau, que ce soit les tôles, la peinture, les aménagements, les vivres ainsi que les vêtements et le matériel.

Le bateau doit posséder un nombre d'aérateurs en rapport avec le volume et le nombre de « *cabines* ». Un panneau de pont n'équivaut pas à un aérateur réel. Lorsqu'il pleut, on devra le fermer tandis qu'un aérateur continue à fonctionner. Or, il peut faire très chaud et pleuvoir en même temps et c'est justement là que l'humidité sera au maximum avec la condensation et les moisissures qui en découleront !

Il faut deux aérateurs de type fixe, champignon ou dorade, par cabine. Sur les deux, il faut au moins une dorade.

Avec deux dorades par cabine, on en fait travailler une en absorption d'air et l'autre, tournée en sens opposé au vent, travaille en dépression aspirant l'air de l'intérieur vers l'extérieur. Avec une dorade et un aérateur fixe, on fait travailler la dorade en dépression « *dos* » au vent.

Pour les bateaux de croisière en acier, je conseille des dorades d'un diamètre 100 mm minimum. Ceci vaut aussi bien pour les bateaux en aluminium.

Voyez le chapitre sur la construction et la fixation d'une boîte dorade.

La circulation de l'air dans le bateau doit être facilitée. Ainsi les cloisons s'arrêtent au niveau des cornières de support des planchers (varangues) pour que l'air puisse circuler sous les planchers. Les portes comporteront des grilles d'aération. De même, les dessus de couchettes pourront être à claire-voie, ainsi que les dessus de banquettes et le fond de la table à cartes. Une bonne solution consiste à faire des portes d'équipets à claire-voie ou en cannage. C'est léger et l'aération est optimum.

Pour un ensemble cuisine, table à cartes sur le bord opposé et carré, il faudra quatre dorades. Deux à l'avant au-dessus du carré, le plus en avant possible sur le roof et deux à l'arrière, l'une au-dessus de la cuisine et l'autre au-dessus de la table à cartes.

Dans l'ensemble les dorades devront être aussi éloignées l'une de l'autre que le permettent les dimensions de chaque poste.

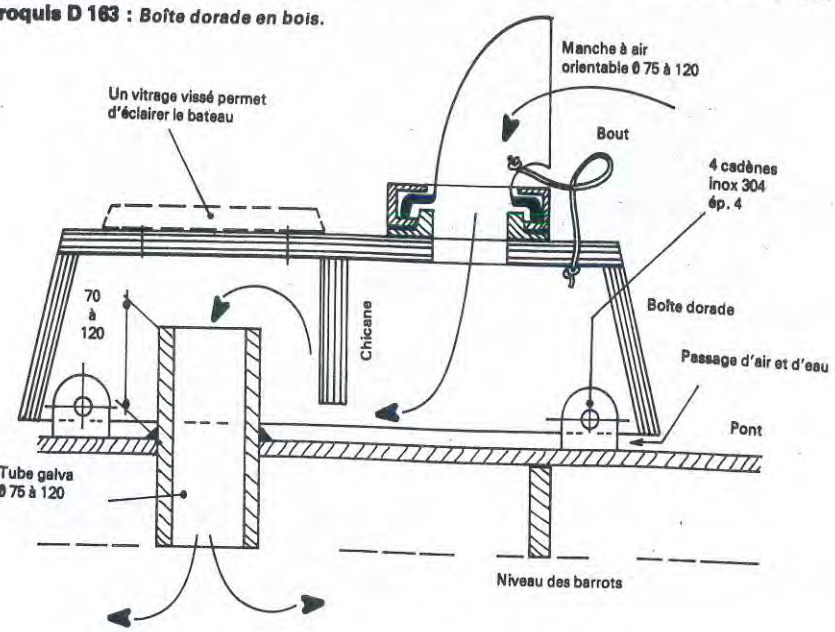
L'aération moteur doit être très soignée, pour les bateaux destinés aux régions chaudes. Je conseille une dorade de 100 à 120 mm pour l'admission d'air et une autre identique pour l'évacuation. On a le droit de prendre l'air dans les aménagements, par exemple par une grille dans l'escalier de descente. Mais, attention aux refoulements !

Pour tous les bateaux destinés à naviguer dans des zones très difficiles, quillards ou dériveurs, on peut souhaiter clore le pont hermétiquement. Dans ce but, les dorades seront pourvues d'un clapet à vis permettant de clore le conduit d'entrée d'air, si possible par le haut et non par le bas. On fermera ces dorades par l'intérieur. La molette devra alors être accessible dans le conduit d'air. Les aérateurs du moteur peuvent, eux, être fermés par l'extérieur car en principe en haute mer, on ne le fait pas souvent fonctionner sauf pour recharger les batteries.

Il faudra penser à clore aussi les évents de réservoirs et de bac à batteries.

On peut opter pour des dorades composées d'une boîte avec manche à air amovible et orientable coiffant un tube cette fois muni d'une collerette. Sur cette

Croquis D 163 : ***Boîte dorade en bois.***



Croquis D 164 : ***Aération entre deux dorades.***

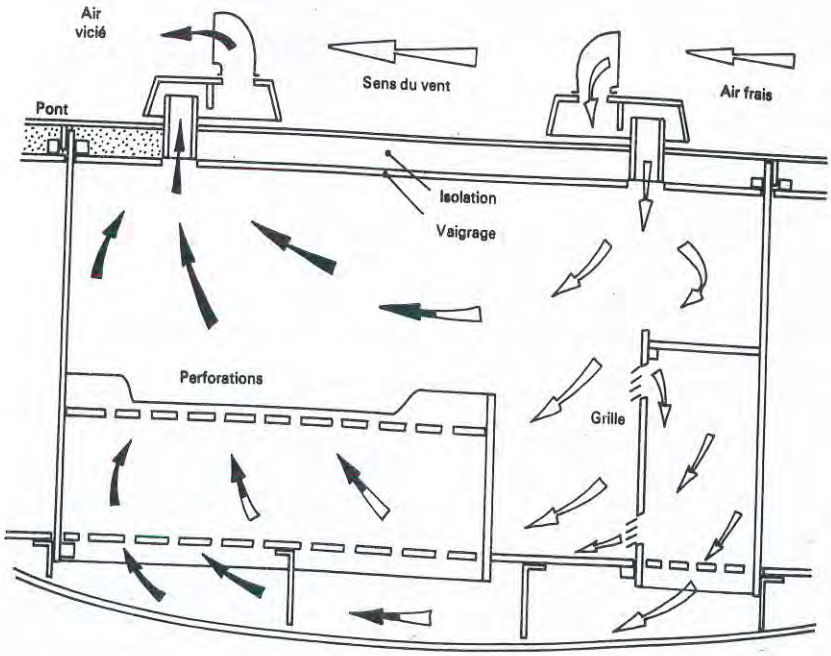




Photo D 67 : *Boîte dorade classique.*

collerette sera fixé un aérateur champignon dont la tige filetée sera prolongée pour que la molette arrive au ras du vaigrage.

La boîte dorade sera alors plus large et plus haute que dans le simple cas d'un tube ouvert des deux côtés et sans collerette.

Soignez sans concession l'isolation et l'aération de votre bateau métallique, en acier et plus encore en aluminium, matériau plus conducteur que l'acier. *(Photo D 67. Croquis D 163 et D 164).*

34

L'ÉLECTRICITÉ

Je laisse pour un numéro Hors Série spécialisé le soin de traiter en détail de l'électricité (en principe, sortie fin 84 ou mai 85).

En ce qui concerne les bateaux en acier et plus encore en aluminium, je voudrais insister sur les éléments de sécurité.

Dans le bateau, l'électricité sera fournie par une batterie ou un groupe de batteries destinées à l'usage domestique. Absolument indépendante de ce groupe, on trouve une batterie de démarrage du moteur. Le rechargement de chaque groupe étant assuré par le moteur. Un voltmètre est nécessaire avec un dispositif évitant la surcharge sur chaque groupe. Une coupure bipolaire voire quadripolaire permet de couper le courant depuis la descente ou près de la table à cartes.

Le câblage électrique est du type isolé, gainé. On peut faire passer les câbles principaux entre l'isolation du roof et le vaigrage. Les câbles électriques passent le plus haut possible sous le pont ou le roof. Jamais dans les fonds ! L'idéal bien que ce soit moins esthétique, est de faire passer les câbles de façon apparente car c'est un gage de leur bonne aération. Ne faites pas passer les câbles contre le métal. Des ragages peuvent user la gaine et mettre le métal en contact avec le fil électrique. Le diamètre des fils est 2,5 mm².

Il existe deux écoles concernant la mise à la masse ou l'isolation de l'ensemble de l'installation.

Ou bien, on met toute l'installation à la masse ou on ne met rien, isolant le tout.



Photo D 68 : *Passage des fils électriques vers le pied de mât.*

Il me semble que l'isolation est la meilleure solution pour l'amateur et celui qui termine son bateau acheté en coque pontée. Isoler le tout est relativement simple à force de montages utilisant des fixations synthétiques. Le moteur et son câblage sont déjà isolés.

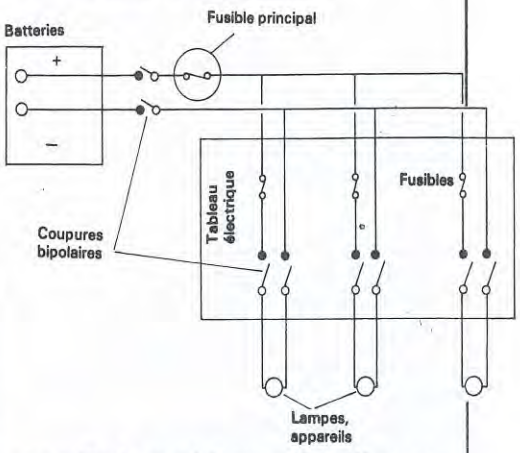
La mise à la masse peut se faire par la mèche de gouvernail du quillard. Le dériveur possédant souvent des aiguillots et fémelots, c'est plus difficile. La mèche est ensuite reliée à la coque par des tresses métalliques. N'étant pas pour cette solution difficile à maîtriser, je ne m'y étends pas plus qu'en signalant les plaques de mise à la masse boulonnées de façon isolée à l'extérieur de bordé.

Il est possible de prévoir des systèmes de lucioles (petites ampoules en série) pour déterminer des fuites de courants positif ou négatif qu'on branche et met à la masse de la coque par deux fils nus (6 et 12 volts) lors des vérifications. Il existe aussi des millivoltmètres (voltmètres gradués en millivolts) qu'on peut mettre en contact avec la coque pour vérifier l'intensité des courants vagabonds.

En dessous de 10 ou 11 mètres, on peut se passer de beaucoup d'électricité. Seuls les spécialistes oseront bourrer leur bateau de tout ce qui fait le bonheur des amateurs de gadgets. Reste que réfrigérateur, congélateur, lampes, feux de signalisation, sondeur, loch speedo, compas de pilote automatique, peuvent comporter de l'électricité, à isoler de la coque.

Je conseille d'avoir recours à une large information auprès de professionnels et la lecture des articles mensuels et numéros Hors Série de Loisirs Nautiques. Pour ceux qui veulent opérer une mise à la masse pour un bateau en aluminium, je

Croquis D 165 : *Schéma électrique simplifié montrant les coupures bipolaires.*



conseille de requérir aux offices d'un professionnel de l'installation électrique sur un bateau. *(Photo D 68. Croquis D 165 à D 167).*

INTENSITÉS ADMISSIBLES DANS LES CÂBLES ISOLÉS

Section	1 conducteur	2 conducteurs	3 conducteurs
mm²	A	A	A
1	8	7	6
1,5	14	11	9
2,5	19	17	14
4	26	23	18
6	35	29	24
10	47	40	33
25	84	72	59
50	132	112	92
70	167	142	17

35

LE DERIVEUR EN ACIER

CONCEPTION

Un dériveur est un bateau à plan de dérive mobile pour adapter sa géométrie immergée aux circonstances de la navigation ou de l'échouage.

Il y a une séparation de la fonction anti-dérive de la fonction lest.

Mais il existe plusieurs façons de répondre à ces objectifs. De toute manière, tous ces dériveurs que nous étudions sont lestés, puisqu'on ne peut concevoir un monocoque non lesté pour la croisière et les voyages océaniques ; les multicoques actuels sont des dériveurs non lestés.

Mais chaque matériau implique des particularités. Par exemple, il est impensable de poser sur son fond, même épais, un dériveur à fond plat de plus de huit ou neuf mètres construit en polyester. Ce matériau ne résisterait pas et à peu près aucune méthode de blindage n'est satisfaisante.

La particularité de l'acier doux est de nécessiter d'être peint, et de nécessiter un entretien minimum de la peinture. Les catégories de dériveurs qu'on pourra construire en acier devront donc permettre un entretien aisé et approfondi. A noter tout de suite qu'aucune impossibilité de conception ne semble toucher les dériveurs en acier inoxydable.

Par contre, il n'est pas question de construire une coque en acier doux avec un puits ou une dérive en inox.

Ces catégories de dériveurs sont :

- le dériveur à embryon de quille ;
- le dériveur à fond plat dit « *intégral* » ;

Il en existe des sous-groupes :

- dériveur à embryon de quille à dérive sabre ou pivotante ;
- dériveur à fond plat à dérive sabre ou pivotante, dérive tout à fait légère ou contenant une part de lest.
- bateau à quille relevable qui est en fait un dériveur à fond plat (dit dériveur intégral) dont la dérive porte tout le lest.

Les dériveurs à embryon de quille sont choisis par ceux qui ne veulent pas qu'un puits de dérive empiète sur leurs aménagements.

Or, un puits qui n'ouvre pas au-dessus de la flottaison n'est pas carénable, d'autant plus que pour trouver place dans la quille, il ne peut pas être large.

En acier, on choisira un dériveur dont le puits, large et ouvrant au-dessus de la flottaison, est facile à caréner à flot comme à sec.

La semelle de posée, fond de la coque, sera suffisamment épaisse pour résister à l'enfoncement des cailloux et pour ne pas avoir à redouter des effets « *rapides* » de la corrosion.

Les dériveurs en acier obtiennent de très bonnes courbes de stabilité car, contrairement à ce qu'on pourrait en penser le poids de lest n'a pas l'importance prépondérante qu'on lui prête. Les formes de la coque et du pont ont plus d'importance. Par contre, on constate que les bateaux à quille relevable chavirent, quille relevée, entre 90 et 95°, angle qu'on peut atteindre en étant simplement couché par une forte claque de vent. Alarmant ! C'est la seule catégorie de « dériveurs » auxquels pareille mésaventure puisse arriver. Mieux vaut dissocier totalement le poids de lest de la fonction anti-dérive pour améliorer la stabilité par très fort vent ou très forte mer, à la cape à sec de toile.

Un dériveur intégral est dans cette condition d'une très grande fiabilité et non seulement on peut relever la dérive, mais encore on le doit ! Dérive relevée, le bateau glisse sans gîter et est d'une très grande stabilité de route grâce à un aileron arrière, voire une dérive d'appoint.

Sauf autorisation spéciale de la direction Loisirs Nautiques, nous rappelons à nos lecteurs que la reproduction même partielle de ce Hors Série est strictement interdite pour tous pays. Photocopies comprises.

©Loisirs Nautiques Hors Série n° 16 1983

CONSTRUCTION

LA STRUCTURE : elle est conçue comme celle du quillard, sauf la partie basse.

LE BORDAGE : on borde le bateau en commençant par les fonds en tôle épaisse. La fente de passage de la dérive y a été ouverte avant la pose. La tôle du panneau intérieur arrivant à l'étrave pourra, si le besoin s'en fait sentir, être posée comme la tôle de brion d'un quillard.

Pour le gouvernail, voyez le chapitre général sur sa construction où il est question des gouvernails pour dériveurs. L'idéal est un gouvernail à safran fixe plutôt que relevable si la taille du bateau dépasse les 10 ou 11 m.

LE PUITS : à la différence de la quille dont le galbe est une des difficultés, le puits n'est au fond qu'une « *boîte* » rectangulaire.

On le bâtira à plat au sol ou dans le bateau comme une quille. Bâti au sol, on gagne en facilité de construction. Mais bâti sur le bateau, remis à l'endroit, le puits est construit comme la quille, le premier côté soudé sur le fond et à la structure. La soudure peut être faite côté intérieur et extérieur. Le second côté peut être monté en deux bandes de hauteur faible permettant de souder intérieur et extérieur. On aura compris que le puits bâti indépendamment et posé terminé dans le bateau ne peut être soudé qu'extérieurement contre la tôle de fond. Un chantier professionnel y parviendra bien. C'est moins sûr pour l'amateur ou le petit artisan.

La structure du puits est raccordée à la structure de la coque.

Plusieurs systèmes existent pour assurer et limiter la mobilité de la dérive. On trouve des guides en profilés d'acier doux ou inoxydables recouverts d'un matériau synthétique auto-lubrifiant tel que le Résipress ou le Téflon.

Pour ma part, j'ai opté pour le plus simple, des guides en arc de cercle faits en acier inoxydable.

Pour limiter le jeu latéral, je n'ai pas cherché à ajuster les guides, mais j'ai recours à un blocage à vis qui évite les vibrations et permet de retenir la dérive en position haute et basse ainsi qu'en toute position intermédiaire.

L'AXE: L'axe doit être soigneusement positionné, horizontal et perpendiculaire plan vertical médian du bateau. Il peut être en inox, voire directement en matériau synthétique. Des joues limiteront le débattement latéral de la dérive. Si j'ai choisi un principe de dérive libre autour de l'axe et bloquée comme dit précédemment par un « *doigt* » fileté avec joint torique, le chantier *Brument*, a opté pour un axe en forme de grosse vis qu'on serre. Les deux flancs du puits sont rapprochés et coincent la dérive, évitant les mouvements latéraux et la maintenant dans la position choisie. L'un et l'autre de ces systèmes permettent à la dérive de s'escamoter en pivotant en cas de choc.

La dérive : profilée ou plate selon le budget, elle peut être en tôle galvanisée épaisse ; en tôles fines d'acier doux formant une aile galvanisée une fois finie ; en acier inoxydable ; en bois. Selon les cas, on choisira l'une ou l'autre, par souci de performances (aile profilée) d'économie (tôle épaisse) ou pour la facilité de fabrication en amateur et d'entretien par la suite (bois plastifié).

Une dérive bien conçue pourra être rentrée dans le bateau pour carénage du puits à flot.

Les dérives en bois flotteraient si on ne les lestait pas d'une pastille de plomb, ou de fonte.

Lest et équilibrage. A la différence de celui du quillard, le lest du dériveur est étalé en largeur et en longueur. Des variations de densité du lest dues aux différents matériaux ne se traduiront pas par de grosses différences de hauteur. On n'a donc guère intérêt à acheter un lest cher, sous prétexte qu'il est dense (plomb, par exemple). Mieux vaut bien compacter un lest en tôles d'acier et chutes d'acier. Ne sont pas conseillés les lests en petits déchets d'acier qui risquent de se désagréger au fil des vibrations.

Le lest est collé dans les fonds et si possible emmailloté dans des mats de verre. Il est scellé en place par de la résine à l'eau, type Torolite. Il peut encore être bloqué par des barres d'acier ou d'aluminium boulonnées ou soudées à la structure.

Comme pour les quillards, il faudra équilibrer le bateau par les charges habituelles (eau, fuel, vivres, chaînes et ancres). Une fois le bateau terminé, équilibrage par 1/5e du lest gardé mobile à cet effet. Comme pour les quillards.

PRECAUTIONS

Les précautions ci-après sont aussi valables pour le quillard que pour le dériveur. Mais les propriétaires de dériveurs sont plus sensibilisés que les autres sur les « *histoires* » de chavirages. Ils devront donc être vigilants sur les possibilités de rendre le pont étanche. Il faudra pouvoir clore les aérateurs de l'habitacle et du moteur, ainsi que les évents de réservoirs et, bien sûr, la descente. Ceci dit, il ne faut pas fantasmer outre mesure et transformer le bateau en sous-marin. La descente, par exemple, peut tout à fait être

d'un type classique, mi-vertical et mi-horizontal.

Voyez le chapitre sur les descentes.

BILAN : Un dériveur en acier peut être tout à fait fiable, sûr et agréable d'utilisation si l'option de conception s'accorde bien avec le programme d'utilisation. Sa construction ne pose pas de problème plus difficile qu'un quillard. Certes, il faudra usiner l'axe et les flasques qui le reçoivent ainsi que le blocage. Mais ce ne sera pas très coûteux.

Cependant, un dériveur reste plus ouvrageux qu'un quillard. Les alignements sont plus rigoureux et une coque pontée de dériveur, par rapport à une coque pontée de quillard, demandera à l'amateur plus d'heures de travail ou coûtera plus cher lorsqu'elle sera achetée à un chantier professionnel.

L'acier inoxydable trouve dans les dériveurs un terrain d'application idéal par sa solidité et son faible entretien.

Les dériveurs en aluminium sont légion et l'alliage léger convient parfaitement, car il ne requiert pas beaucoup d'entretien. Par contre, les fonds demandent à être sérieusement renforcés et je ne peux que saluer la conception des bateaux en Strongal de Méta. L'alliage léger en tôles épaisses peut être un très bon choix, pourvu que le constructeur maîtrise bien le soudage de ces épaisseurs de tôles. *(Croquis D 169 et D 170).*

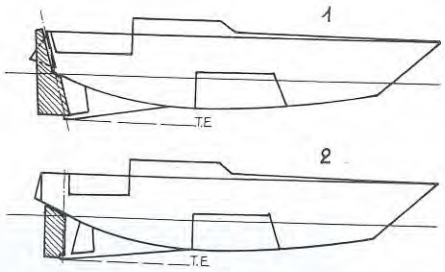
36

CONCLUSION

Ce Hors Série de construction destiné aux amateurs, constructeurs individuels et artisans, vous a décrit les techniques les plus modernes. L'amélioration en est permanente. A la date de parution de ce numéro spécial, elles sont les plus performantes, les plus avantageuses, les plus faciles à mettre en œuvre.

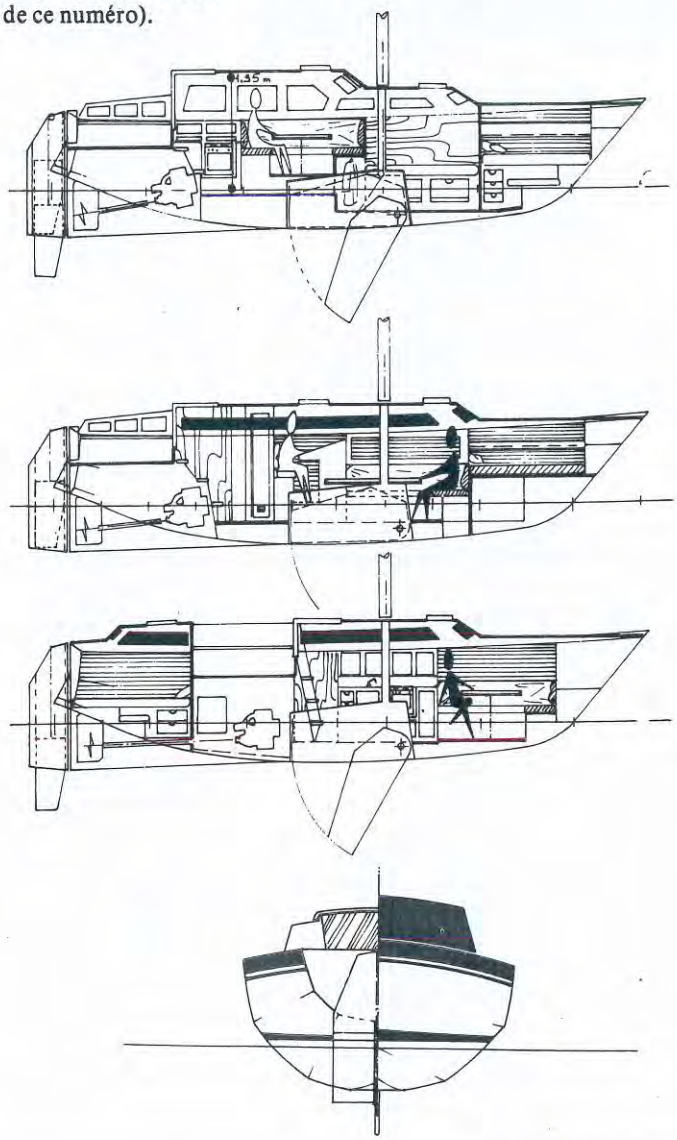
Je les ai vues évoluer depuis 1971. Quel changement ! Les amateurs d'aujourd'hui bénéficient de méthodes à peine connues de beaucoup de professionnels d'il y a quelques années.

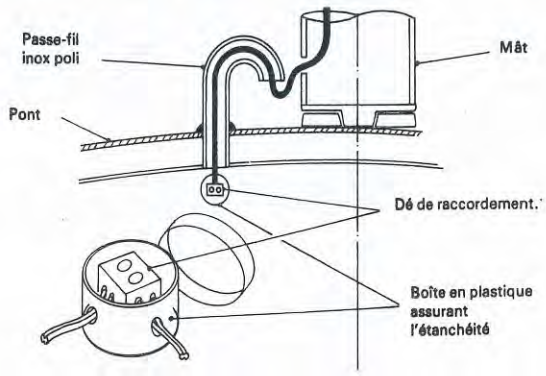
Mais la meilleure méthode pour tenir à jour ces techniques et faire progresser encore ces méthodes sera de lire chaque mois les rubriques de construction et d'équipements des numéros mensuels de Loisirs Nautiques, ainsi que les numéros techniques Hors Série de la collection, toujours disponibles à la Revue (Voir bon de commande en fin de ce numéro).



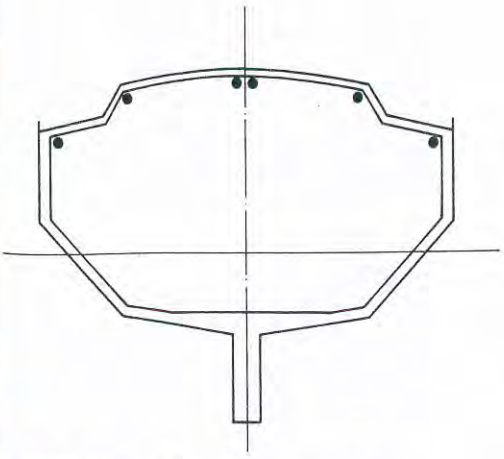
Croquis D 169 : *Deux exemples de safrans fixes simples et solides pour des dériveurs.*
1. Safran sur tableau.
2. Safran sous voûte.
Notez la pente de l'aileron vers l'arrière pour stabiliser le bateau par mer de l'arrière.

Croquis D 170 : *Les unités de conception moderne supportent facilement des options aussi variées que dériveur à salon de pont et quillard à cockpit central.*





Croquis D 166 : *Sortie d'un câble électrique vers le mât.*



Croquis D 167 : *Zones où peuvent circuler les câblages électriques.*

E

DES TECHNIQUES POUR DEMAIN

« Tout bateau est copié sur un autre bateau (...) sur un nombre prodigieux d'expériences il ne se peut pas qu'il y en ait beaucoup de trompeuses. Un bateau bien construit peut donner contre un récif ; un sabot peut y échapper. Mais sur cent mille bateaux de toute façon jetés aux vagues, les vagues ramèneront à peine quelques barques manquées et presque toutes les bonnes. Il faudrait un miracle pour que toujours les meilleures aient fait naufrage (...) c'est la mer elle-même qui façonne les bateaux, choisit ceux qui conviennent et détruit les autres. Les bateaux neufs sont copiés sur ceux qui reviennent de nouveau. L'océan choisit (...) dans cette élite, encore une élite, et ainsi des milliers de fois ».

Propos d'Alain, 1er septembre 1908

1

HISTORIQUE DE LA MARINE EN ALLIAGE D'ALUMINIUM

J'ai eu l'occasion d'écrire à un autre endroit de ce Hors Série, que chaque bateau était le total de l'expérience de son architecte et des architectes des autres bateaux par la constante confrontation des essais et des résultats.

Ainsi me paraît-il intéressant, à titre de culture générale, de brosser cet historique de la construction nautique en aluminium, à la période des recherches fébriles qui ont précédé son application « industrielle » plus récente.

Voici la progression de l'aluminium dans nos bateaux entre les années 1935 et 1973. Pour la suite, il vous suffit de consulter les chapitres sur les différents types de structures et le tableau des caractéristiques comparées de quelques unités en aluminium.

1934 Un des tous premiers bateaux construits en aluminium. Il s'agit d'une barque de sauvetage pour 99 personnes, nommée « *Barnacle Bill* ». Ce bateau très renforcé et de construction rivée, a été réalisé au chantier *Birmal Boats* à Southampton. En voyant cette date, 1934, on mesure à quel point la construction en alliage d'aluminium est récente, ce qui explique, à la différence de l'acier, qu'elle soit encore sujette à des courants d'idées fiévreux et opposés.

1937 On note la construction en Europe et aux U.S.A. de canoës assemblés par soudure autogène. L'alliage n'étant pas assez noble, devait être verni et entretenu, repeint ou reverni.

1950 Un des premiers petits voiliers de plaisance fut le « *Caneton* », réalisé en AG5 par les établissements *Hodets*, en France. Au Salon nautique de Paris, qui se tenait alors sur les berges de la Seine, on put voir cette année-là, le « *Caneton* » (4,75), des canoës et des barques, ainsi que de petits « *hors-bord* ».

1951 Construction du « *Saint* », petite *yole* à voile auto-redressable qui fit ses premiers pas sur les eaux du bassin d'Arcachon. Mesurant plus de 5 mètres, le « *Saint* » fut réalisé en AG3 et AG5, comme les autres petits voiliers de l'époque.

On rencontre aussi un petit voilier anglais destiné à la course, réalisé en AG3 par soudure autogène. Doté d'une quille en fonte boulonnée, et d'un mât en aluminium, ce voilier d'environ 6 mètres, avait une coque de 2 mm et un pont de 16/10e !

1951 encore, apparition du premier voilier « *sérieux* », dessiné par *Uffa Fox*. C'était le « *Flying Fifteen* », construit en AG3, longueur 4,55 m, poids de la coque, 138 kg, poids de la quille, 172 kg.

1955 Premier Salon Nautique de Londres. Dans une majorité de bateaux en bois, on trouve des « *runabouts* » d'environ 4 mètres, en alliage au magnésium à 3,5 % de Mg.

On trouve également « *Gannet* », une vedette de 9,70 m en Al. Mg à 3,5 % de Mg ; et une autre vedette de 9,10 m, rivée.

Citons aussi « *Gulvain* » qui avait été dessiné par *Laurent Giles*, en 1948, et construit par les chantiers *Freezer* en Angleterre. « *Gulvain* » *remporte la course du Fastnet en 1949.*

1955 On signale une des premières unités soudées au MIG sous argon. Il s'agit d'un plan Knowler de 9,50 m, en alliage au magnésium mixte, rivé et soudé sous argon. Ce cotre de 9,50 m, pesait 3.770 kg dont 1.850 kg de lest.

1957 Les U.S.A. produisent de petits « *hors-bord* », à concurrence d'une consommation en alliage de 180.000 tonnes par an.

1954 Au Salon Nautique de Naples, on voit des barques de sauvetage de 9 mètres, à structure mixte soudée et tôles semi-épaisses.

1957 Si les perspectives de la construction en alliage d'aluminium en France se tracent sur de petites unités à voile ou à moteur, avec une activité faible, aux U.S.A., on note que 31 % des chantiers exposant à Chicago, au Salon, montrent de petits bateaux en aluminium. L'honnêteté veut qu'on ajoute que ce pourcentage ne subsistera pas et que la production de bateaux en aluminium baissera en pourcentage aux U.S.A., en Allemagne et en Angleterre, de 1960 à nos jours.

1958 A signaler la fabrication d'un mât de 29,50 m pour Chambel 2, Ketch de 17 mètres sur plan *Mauric*. Ce mât est fait de tôles de 5 et 6,4 mm roulées et soudées MIG en long. La section au pied est de 356,5 × 280 mm, et à la tête de 254 × 212 mm. L'artimon est fabriqué de la même façon et mesure 16,20 m. La zone de la prise d'étai est renforcée par des

croisillons en tubes, à l'intérieur du profil.

1959 Signalons le *Moth*, en aluminium des Ets *Gouget*, dont la coque pèse 36 kg.

1962 Apparaissent au Salon Nautique de Paris, le *Noroît* et la *Galaxie*. Tous deux sont des plans de *Jean-Jacques Herbulot*. Le *Noroît* est un petit croiseur côtier de 5,45 m, construit en AG4 par la *Sean*, près de Lille.

Galaxie est une version voisine de la *Caravelle* de 4,50 m. Elle est construite en AG4 de 2,5 mm, possède un mât en ASG fait par « Marco Polo », et une dérive en AG4 de 6 mm.

1964 On voit se généraliser l'accastillage en aluminium. Par exemple, notons l'équipement *Goiot* de *Pen Duik 2*, le Ketch en contre-plaqué de *Tabarly*. L'alliage de fonderie choisi est l'AG6. Les mâts de fabrication française, ont une limite élastique à 0,2 % de 25 kg/mm² ; un allongement de 8 % et un module d'élasticité de 7.000 kg/mm².

1965 A côté du *Noroît*, construit par la *SAEN*, en AG4, apparaissent de nouveaux croiseurs en alliages.

Challenger, plan *Mauric* et *Gaubert*, en AG4 de 7,50 m, construit par *ACNAM*, 1.300 kg de poids.

Coquelicot, plan *Harlé*, en AG4, de 7,50 m, construit par les *Ateliers mécaniques de Normandie*, longueur, 9,60 m ; longueur à la flottaison, 7,50 m ; tirant d'eau, 1,47 m ; poids, 3.300 kg, et voilure, 30 m².

A noter encore le *Moth* Gouget, la *Galaxie* et les *Mobilo* 230 et 290, petits « hors-bord » en formes.

1965 encore, le *Suroît* dessiné par *Harlé* pour la *SEAN*. Ce petit croiseur, destiné aux courses du GCL, possède une carène déjà moderne, à deux bouchains. Construction en AG4 soudé, accastillage en AG6 ; longueur, 7 m ; longueur à la flottaison, 6 m ; largeur, 2,40 m ; tirant d'eau, 1,12 m ; poids, 1.800 kg dont 650 kg de lest ; voilure de 27 m².

1967 Naissance du célèbre *Pen Duick 3*, conçu par *Eric Tabarly*, comme le bateau le plus léger possible, le plus long et le plus toilé possible, pour rester maniable par le solitaire. *Pen Duick 3* a été construit par les *Ateliers de La Perrière* à Lorient, en AG4 MC, soudé en MIG sur 6 couples en tôle pliée dotés d'épontilles. Les mâts sont en ASGM état T6 de 230 mm de diamètre, avec une tête soudée en AG4 MC. Voyez le chapitre sur les structures. Il s'agit d'une structure mixte, sur 8 lisses de coque, le fer de quille (ep. 12), une lisse de pont dans l'axe (ep. 16), pont en 4, gouttière de pont en 6 mm, bordé supérieur en 6, « banane » de bouchain supérieur en 5, reste du bordé en 5 et 6, 6 couples en tôle de 8 et 5, épontilles de diamètre 100 × 5, tube de pavois de diamètre 40 × 5.

La même année, voit apparaître *Naïade 5*, sloop en formes sur plan *Harlé*, bordé sur membrures. Longueur, 9,60 m ; longueur à la flottaison, 7,90 m ; largeur, 2,90 m ; tirant d'eau, 1,19 m ; poids, 4.200 kg dont 2.000 kg de lest et 35 m² de voilure.

1968 On peut être étonné par le *Fireball* en AG4, long de 4,93 m et pesant 100 kg.

On trouve aussi le *Mirage 722*, *sloop de J.-J. Herbulot*, de 7,22 m à double bouchain ; le *Challenger*, à double bouchain, avec un curieux arrière rond ; *Sauvagine* de *Harlé*, 9,60 m, à deux bouchains ; *Casarca*, plan *Knokker*, de 10,68 m en formes et *Fabius*, plan *Illingworth et Primrose*, de 10,68 m en formes aussi.

De même, c'est l'année où apparaissent *Talofa 2*, dont il va être question après, et le racer *Océanique* de 17,37 m de *Dominique Presles*, ainsi que *Pen Duick 4* le « court de tennis flottant » de *Tabarly* rebaptisé *Manureva* par *Alain Colas*. C'était un plan d'*André Allègre*. *Tafola 2* mérite un arrêt. Ce fut très longtemps le plus grand voilier construit en aluminium. C'est un long ketch très élancé, à quille longue, construit par *Palmer et Johnson* au Wisconsin. Le pont, revêtu de teck, a nécessité 5.000 goujons.

Longueur, 34,20 m ; longueur de flottaison, 23,60 m ; largeur, 7,26 m : tirant d'eau, 4 m ; poids, 110 tonnes. Deux moteurs GM de 175 cv chacun. Voilure de 550 m². Epaisseur du bordé, 10 ; pont, de 6 à 8 ; roof, 5 et 6 mm.

Nous pourrions conclure sur ce point d'orgue.

Mais non !

Concluons sur ce qui fut peut-être la première expérience de construction amateur en aluminium.

1973 *Jean-Yves Aufort* construisit le *Windjammmer*, un ketch de 12 mètres sur plan *Vernette*. Coque classique à double bouchain, bordée sur membrures. Epaisseur de coque 5 mm, pont 4 mm. Quille de type caisson avec lest en plomb isolé par de la résine, et fermé sur le dessus par une tôle soudée. Anodes en Mercatal.

Monsieur *Aufort* précise à *Jacques Mafflard* qui l'interviewait, pour la *Revue de l'Aluminium* (n° 422, d'octobre 1973), qu'il a choisi l'aluminium malgré son prix, pour ses facilités de travail. Il s'est largement renseigné sur le soudage et poste MIG lui a été prêté, ce qui a limité les frais d'outillage. Il a ensuite fait beaucoup d'essais de soudures suivis de pliages du joint soudé.

Jean-Yves Aufort ajoute que la construction ne comprenait pas de lisses, que cette technique accroît les déformations et qu'elles auraient pu être en partie évitées si la structure avait été sur lisses... Sage opinion !

Vous compléterez cette information en vous reportant aux chapitres sur les structures en aluminium, les options de structures pour l'avenir et les tableaux comparant les caractéristiques de divers bateaux en aluminium.

GENESE DE LA CONSTRUCTION DE PLAISANCE OU ALLIAGES D'ALUMINIUM, PAR FRANÇOIS SERGENT

« L'évolution de la construction des yachts en alliages légers dans le monde et particulièrement en Europe et en France, est assez peu connue et je crois que cela pourrait intéresser nos lecteurs. Je vais donc sur ce sujet faire appel à mes souvenirs.

Le premier yacht en aluminium « *Dina II* », a été construit aux Etats-Unis en 1931, car c'est vers cette époque que sont apparus les alliages au magnésium inaltérables à l'eau de mer qui pouvaient permettre une telle réalisation. Les Américains ont été les premiers à en faire usage grâce à des architectes comme *Olin Stephens* ou *Phill Rhodes*, et pas mal d'unités plus ou moins grandes, ont vu le jour.

Les Européens ne s'y sont mis qu'après la guerre ; je me souviens fort bien de « *Gulvain* », un bel océan racer, dessiné par *Laurent Giles*, qui a commencé la carrière de course en 1948.

En 1951, le même architecte a sorti un bateau assez extraordinaire « *Four Freedom* », dessiné pour un ingénieur de l'automobile, *Robert Boyle*. Ce voilier de 10,80 m de long, 3 m de large, 2,10 m de tirant d'eau, avait des sections transversales en léger V dans la carène immergée, et presque cylindriques au-dessus de la flottaison, avec un pont en dos de tortue, le tout lui donnant assez l'allure d'un gros tube légèrement aplati. La quille était un aileron creux contenant les réserves d'eau et de fuel et supportant un lest en fonte de 3.000 kg, fixé transversalement par cinquante boulons !

Le mât de 14,50 m, supportant une voilure de sloop de 45 m², était formé de trois longueurs de tubes d'alliage léger, raccordés par des chemises intérieures, vissées à hauteur des capelages, et portant sur l'arrière une glissière également vissée. Posé sur le pont, il était à bascule.

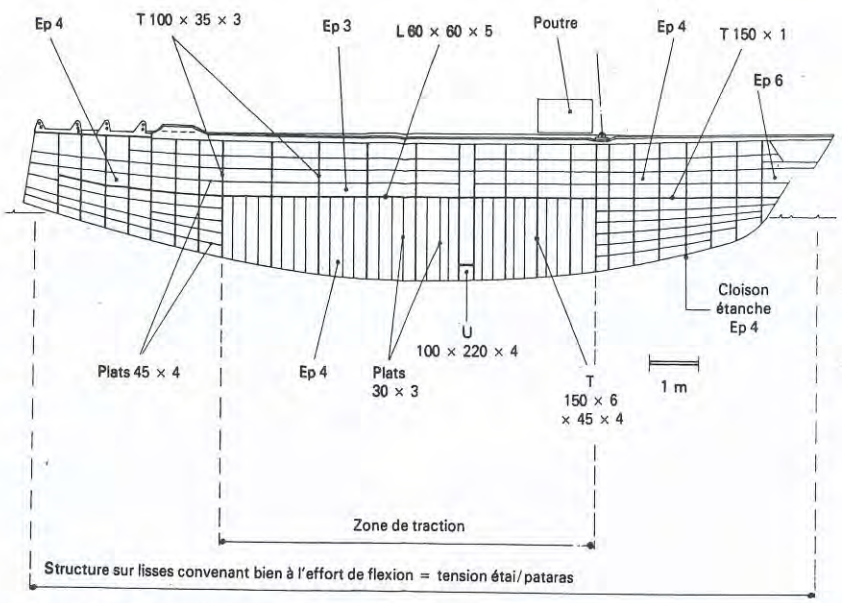
Je dois dire que la vue de ce voilier, qui marchait fort bien d'ailleurs, était un spectacle pas ordinaire. En 1951, toutes ces innovations étaient des « nouveautés » si je peux me permettre ce pléonasme ; néanmoins « *Four Freedom* » et les autres étaient entièrement rivés.

Il faudra attendre la première moitié des années 60 pour avoir des alliages soudables, et mettre au point des techniques de soudage appropriées. C'est à cette époque que ce type de construction en alliage léger démarre en France ; les *Chantiers et Ateliers de la Perrière*, à Lorient, sous la direction d'*Yves Toulec*, mettent à l'eau plusieurs petits croiseurs en AG4MC soudé.

Quelque temps après, c'est le célèbre « *Pen Duik III* » d'*Eric Tabarly*, qui voit le jour ; la coque nue de cette unité de 17,45 m ne pesait que 2.700 kg.

Vint ensuite une « *Naïade* », dériveur lesté de *Philippe Harlé*, puis un ketch de 34 m et 110 tonnes, qui était alors le plus grand voilier du monde réalisé en alliage d'aluminium. Quelque temps après, les Chantiers de l'*ACNAM* construisaient, sur plans d'*André Mauric*, un voilier de 17 m, qui s'est illustré plus tard dans les courses autour du Monde, sous le nom de « *33 Export* ». L'impulsion était donnée, la lancée ne pouvait que s'amplifier et faire qu'aujourd'hui l'alliage léger de construction navale de plaisance est devenu tout à fait classique ». *(Croquis E 1)*

François SERGENT
Architecte Naval I.F.A.N.



Croquis E 1 : ***Structure du Paul Ricard d'Eric Tabarly.***

2

UNE EXPERIENCE DE CONSTRUCTION AMATEUR EN ALUMINIUM

« WINDJAMMER » UN KETCH CONSTRUIT EN ALLIAGE D'ALUMINIUM PAR UN AMATEUR

La construction amateur est d'actualité et, dans les diverses revues nautiques, il ne se passe pas un mois sans que soient publiés des articles traitant de cette méthode de construction et des matériaux à utiliser.

Parmi ceux-ci, l'acier et le béton sont le plus souvent préconisés, c'est pourquoi, nous avons estimé qu'un entretien avec M. Jean-Yves Aufort, qui a construit un ketch de 12 m en alliage d'aluminium, permettrait de connaître les raisons qui l'ont conduit à la construction amateur, au choix du matériau, et de découvrir les difficultés auxquelles il s'est heurté.

J.M. *Avant d'entrer dans le vif du sujet, pouvez-vous nous présenter votre bateau ?*

J.-Y. A. « Windjammer » est un ketch, dessiné par Louis Vernette, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Longueur ..... 12 m
- Flottaison ..... 10 m
- Bau ..... 3,25 m
- Déplacement ..... 8 t
- Lest en plomb ..... 3 t
- Surface de voilure ..... 110,80 m²
- Moteur : Diesel Indenor ..... 50 CV

Les tôles de bordé ont une épaisseur de 5 mm, celles du pont, roof, etc., 4 mm.

Ses aménagements furent conçus pour obtenir un maximum de confort et permettre de naviguer à plusieurs, tout en conservant à chacun une certaine intimité.

Il comporte 8 couchettes réparties en 3 cabines séparées, les cabines avant et arrière possédant un cabinet de toilette avec eau sous pression et W.C. Dans le carré, entourant la table, une banquette en U convertissable en couchette double, puis la couchette du navigateur, la table à cartes, la cuisine, un réfrigérateur et une glacière de 120 litres. De très nombreux équipements et placards ont été prévus, sans oublier la penderie et l'armoire à cirés.

— *Entreprendre la construction amateur d'un voilier de cette taille n'est pas une mince affaire. Comment avez-vous pris cette décision ?*

— Nous avons acheté, mon père et moi, plusieurs bateaux d'occasion et nous souhaitions posséder enfin un bateau plus important, étudié et aménagé selon nos désirs.

Faire réaliser ce bateau par un chantier aurait dépassé le budget que nous nous étions fixé, voilà pourquoi après mûres réflexions, nous avons choisi en 1969 la construction amateur ; à cela doit peut-être aussi s'ajouter le petit sentiment de fierté ressenti devant une œuvre sortie de ses mains.

— *Qu'est-ce qui vous a guidés pour le choix du matériau ?*

— Nos divers bateaux, bien que nous ayant procuré de grandes satisfactions, nous ont aussi occasionné pas mal de problèmes d'entretien. Pour ce motif, nous avons éliminé le bois ; le béton fut aussi écarté, car nous l'estimions peu adapté à une unité de cette taille, restaient donc l'acier, le plastique et l'aluminium.

— *Alors, pourquoi l'aluminium ?*

— Le plastique implique la réalisation d'un moule délicat et coûteux qui ne peut être amorti sur un seul bateau ; l'acier, bien qu'économique à l'achat, est lourd, salissant, et il nécessite un outillage particulier et de très grandes précautions pour éviter le développement de la rouille, principalement dans les coins de la coque qui deviennent inaccessibles quand les aménagements sont en place. Nous avons donc finalement opté pour les alliages d'aluminium.

— *Ce matériau est pourtant réputé comme étant cher.*

— C'est vrai, il est plus cher à l'achat, mais le bilan économique final n'est pas en sa défaveur. De plus, il présente divers avantages non négligeables, la légèreté, qui permet un gain de poids sur la coque et des manipulations aisées, la robustesse, et surtout une mise en œuvre facile.

— *La mise en chantier d'un bateau de construction amateur sous-entend la possession ou l'acquisition d'outillage varié et onéreux.*

— En réalité, nous ne disposions à l'époque, que de matériel léger et nous ne voulions pas investir dans un outillage dont nous n'aurions plus eu l'utilisation. En conséquence, nous avons fait avec ce que nous possédions, adaptant à une scie circulaire Black et Decker, la lame convenable pour le débitage et utilisant quelques outils de chaudronnier pour le formage.

— *Vous ne parlez pas du soudage qui est pourtant le problème numéro un.*

— C'est exact, acquérir un poste de soudure à l'arc sous argon est prohibitif pour un seul bateau, mais on doit pouvoir en louer ou en trouver d'occasion.

Dans notre cas, nous avons réussi à nous faire prêter un poste semi-automatique.

— *D'accord pour le poste, mais la technique de soudage doit être compliquée et difficile à acquérir ?*

— Ni mon père, ni moi-même n'étions soudeurs, aussi, avons-nous consulté des brochures, demandé des conseils et surtout effectué de nombreux essais de soudures bout à bout, pour nous exercer et

connaître notre poste, suivis de pliage à l'étau. Ces essais nous ayant donné satisfaction, nous avons abordé allègrement les étapes suivantes.

— *Ce sont-elles déroulées sans histoires ?*

— Cela n'a pas toujours été facile, en particulier quand il fallait souder en position. Finalement, nous ne nous en sommes pas trop mal sortis et les soudures sans être des œuvres d'art, sont très satisfaisantes ; quant à leur résistance, elle est très largement suffisante. De plus, par surcroît de précaution, nous n'avons pas arasé les cordons extérieurs des soudures de bouchains ; ceci peut présenter un léger inconvénient du point de vue hydrodynamique, mais notre sentiment de sécurité en est augmenté.

— *La structure de « Windjammer » est essentiellement constituée par de très nombreuses membrures, peu de cloisons et aucune lisse ; cette technique accroît les déformations dues aux rétreints de soudure, qui auraient pu, en partie, être évitées si vous aviez soudé vos tôles de bordé sur des lisses et porques.*

— Oui, effectivement, mais c'est parce que nous avons respecté les plans et aussi par ignorance que nous avons réalisé ainsi la structure. Nous avons, de ce fait, compliqué la construction, sans forcément la rendre plus solide, et augmenté le chaudronnage.

— *A part ces incidents de parcours, quelles furent les difficultés particulières que vous avez rencontrées ?*

— Les détails, si on peut les nommer ainsi : installation du moteur, de la ligne d'arbre, de l'eau sous pression, des sorties de coque, des drisses reliant la barre au secteur du gouvernail et le pot d'échappement. Ce dernier fut le seul point refusé par l'Inspection maritime, parce qu'il n'était pas refroidi par eau et que son trajet ne lui convenait pas. Il nous a donc fallu le modifier complètement pour répondre aux normes.

Par contre, les difficultés furent minimes pour les aménagements. Les plans initiaux ne répondant pas exactement à nos désirs, nous les avons étudiés à la planche, puis sur place, et réalisé des gabarits de carton pour découper et assembler les éléments de bois.

— *Et le lest ?*

— Il est en plomb parfaitement isolé de la carlingue en Duralinox par de la résine polyester, le haut de la carlingue est, de plus, clos par une tôle soudée étanche. Sa réalisation n'a posé aucun problème à part un incident provoqué par la rupture d'une durite d'eau ; de ce fait, l'eau du bord s'est déversée dans la quille, nous obligeant à l'assécher à l'air comprimé et à vérifier au métrix la résistance, entre le plomb et l'alliage léger, avant de couler de la résine.

— *Vous avez vécu et mené à bien, pendant trois ans, cette expérience. Quelles conclusions pouvez-vous en tirer ?*

— Un bateau de cette taille demande beaucoup de soins et de travail, mais cela est passionnant à réaliser. En ce qui concerne le choix du matériau, nous ne l'avons jamais regretté, car bien que le coût en soit plus élevé à l'achat, il nous a permis d'obtenir un très grand confort à la mer, grâce à la fois à sa légèreté et au gain de place qu'il procure dans les aménagements.

Depuis un an que le bateau navigue, nous n'avons rencontré aucun problème de corrosion. Les parties non peintes de la coque, sous la flottaison, ne présentent aucune altération et les anodes Mercatal ne sont pratiquement pas attaquées. Seule, l'hélice en AG5, montée sans protection directement sur l'arbre inox, a de nombreuses piqûres.

Notre bateau a de bonne qualités marines, car ses formes sont assez douces, bien qu'il soit à doubles bouchains.

— *M. Jean-Yves Aufort, je vous remercie vivement d'avoir bien voulu m'accorder cet entretien. J'espère qu'il contribuera à montrer que la construction du Duralinox n'est pas extrêmement compliquée. Toutefois, les petits constructeurs amateurs doivent être conscients qu'il leur faut, comme pour tous les autres matériaux, acquérir une bonne technicité.*

Propos recueillis par J. Mafflard

Ce texte, publié dans le numéro d'octobre 1973 de « la Revue de l'Aluminium », nous a été aimablement communiqué par Françoise Le Bot que nous remercions chaleureusement.

3

OPTIONS DE STRUCTURES EN ALUMINIUM

De la multiplicité des destinations des bateaux en aluminium, découlent de façon logique de multiples arrangements de structures et conceptions de construction.

Les nécessités d'un bateau de course ne sont pas les mêmes que celles d'un voilier de croisière familiale. Les efforts du gréement du premier, sa légèreté, font contraste avec le poids et le besoin de résistance aux chocs et rayages du second.

La variété des structures sera beaucoup plus grande dans la construction en aluminium que dans la construction en acier.

On rencontrera ainsi :

- des constructions à tôles fines et structures denses :
  - sur lisses en « *floating system* »,
  - sur membrures, système classique,
  - mixte ;
- des constructions en tôles plus épaisses et à structures sur lisses ou mixtes ;
- des constructions en tôles épaisses correspondant au brevet *Strongall* du chantier *Méta* avec pas ou peu de structures ;
- des constructions fines à structure *Bergström* ;
- les constructions de type « *Profilen* », collées ;
- et pour l'avenir, peut-être, des structures en vrai *sandwich*.

Pour l'avenir, l'option va consister dans un choix entre travailler en tôles fines avec une structure longitudinale (lisses), transversale (membrures), mixte ou « *arachnéenne* » pour gagner du poids et répondre ponctuellement aux sollicitations du gréement et de la quille, ou travailler en tôles épaisses d'où, pour des raisons d'économie, on chassera le plus possible de structure.

L'avantage du premier choix est le poids qui sera d'autant plus léger que la peau non travaillante sera fine.

L'avantage du premier choix est de libérer beaucoup de volume intérieur et, comme toute construction auto-porteuse, de présenter une bonne solidité des flancs aux enfoncements en quelque endroit qu'ils se présentent.

L'inconvénient de la première formule est la fragilité aux chocs et aux corrosions, car la peau fine peut éclater aux soudures.

L'inconvénient de la seconde formule est le poids.

Si bien que l'option de la première formule s'appliquera à des bateaux de sport et l'option de la seconde formule à des unités de croisière.

Il est certain que des tôles fines, de 3 à 6 mm selon la taille du bateau (disons 6 à 25 mètres) sont très sensibles à la soudure, aux sollicitations mal conduites par la structure, aux formes de corrosion. Plus fine est une tôle, plus grande est la déformation du soudage. La chauffe est absorbée par la masse du métal. Une tôle fine absorbera la chauffe par une surface de grande largeur de part et d'autre du cordon. La perte de caractéristiques y sera grande. Selon les alliages, elle peut atteindre de 15 à 40 % des caractéristiques d'origine. A la limite de la tôle écrouie par la mise en formes et de la tôle chauffée, donc recuite, par la soudure, peuvent apparaître d'une part une fragilisation du métal, d'autre part une ligne privilégiée de passage de courants de corrosion magnétique. A long ou à moyen terme, une rupture fragile facilitée par un début de corrosion peut apparaître. Une rayure malencontreuse entamera aussi le métal sur une profondeur qui, restant faible en valeur absolue, ne sera pas négligeable en pourcentage de l'épaisseur. Un bateau construit en tôles fines voit, de plus, son bordé « jouer » beaucoup plus en flexions alternées sous les effets des chocs de la mer ou des efforts de la struc-

ture. Pour que ce système soit résistant, les éléments de structure doivent absorber et conduire tous les efforts sans que la tôle soit sollicitée. Les soudures doivent être d'une qualité supérieure, écrouies et arasées par frappe. Le champion incontestable de cette formule est le chantier hollandais *Huisman*.

La structure de tels bateaux, de course océanique ou de régate côtière, sera plutôt transversale ou mixte; moyens les plus directs pour produire une unité légère. Les bateaux de la *coupe de l'America* sont de type tôle fine et structure transversale. A noter qu'une structure n'est jamais seulement transversale ou seulement longitudinale. Les structures sur membrures comportent aussi des lisses ou des serres. Les structures en « *floating system* » comportent également des varangues et des membrures, lesquelles ne touchent alors pas le bordé.

Les bateaux construits en *Strongall* doivent aussi être bien soudés, c'est évident. Les bords sont chanfreinés en V ou X et les tôles sont soudées en MIG inter. avec reprise exter. Des éléments de structure reçoivent l'effort spécifique du mât et ceux de la quille ou du puits de dérive, ainsi que la traction des cadènes. Les tôles y sont épaisses de 8 à 16 mm en moyenne.

Il faut mentionner de façon particulière les structures dites de *Bergström*. Ces structures en poutrelles reprennent tous les efforts de traction, flexion, compression et laissent le bordé sans autre rôle que d'envelopper et faire flotter le tout. La difficulté est de bien liaisonner cette structure rigide avec des tôles ou une peau de polyester très fine. Voyez le chapitre sur les constructions mixtes.

Autre mention particulière pour la construction collée qui peut-être se développera dans les années à venir. Lisez le long chapitre consacré à la première expérience mondiale de *Profilen*, le bateau suèdois qui a bel et bien navigué et depuis 1982 est testé sur le plan de la longévité du collage, puisque de toute évidence la solidité est prouvée.

Si cette expérience de collage était positive, ce serait fort intéressant puisque du même coup disparaîtrait le recuit de la zone d'assemblage qui est actuellement la tare de la construction en aluminium. Du même coup, le collage ouvrirait la porte aux sandwiches métalliques qui pourraient se présenter dans les dernières années 80 sous forme de :

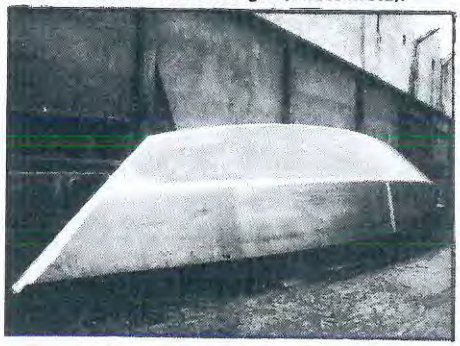
- deux peaux d'aluminium avec une âme de mousse de PVC (*Klégécell*, Airex, etc.) ou en balsa bois de bout,
- une peau d'aluminium et une peau d'acier inoxydable,
- deux peaux d'acier inoxydable.

Et à l'intérieur, un collage de renforts en métal ou en bois comme le faisait déjà en 1982 le *Chantier du Port*. Ce chantier fabrique déjà de petites unités à coque en aluminium et pontage en contre-plaqué, ainsi que le varangage.



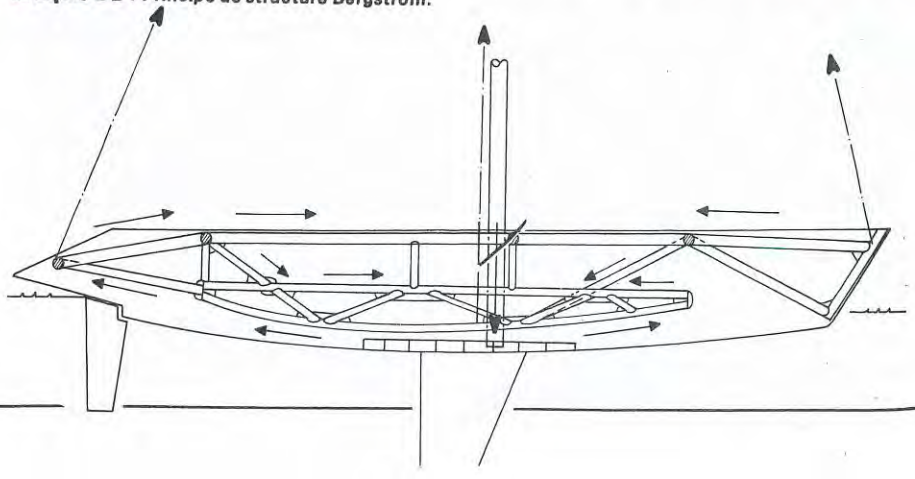
Photo E 4 : *Construction sur lisses. On voit bien le varangage en tôles pliées, les tubes de passe-coque montent au-dessus de la flottaison (Photo Carénal).*

Photo E 5 : *Pureté des lignes à double bouchain. Construction Strongall (Photo Méta).*



De par la multiplicité de ses vocations, capable à la fois d'être un bateau de course ou bateau de promenade, l'aluminium, nous venons de le voir est l'objet d'une recherche fructueuse en manière de structures. Le bateau de croisière se situant dans un juste milieu de tôles semi-épaisses (5 à 8), on trouve à un pôle de la recherche le procédé *Strongall* du chantier *Méta* et à l'autre pôle les constructions en tôles fines des bateaux de compétition. La construction de ces derniers devant, notamment quant au soudage, faire l'objet d'un soin tout particulier afin que diminue le pourcentage des naufrages imputables à la construction en Aluminium. (*Photos : E 4 et E 5 ; Croquis E 2).*

Croquis E 2 : *Principe de structure Bergström.*



4

HISTORIQUE DE LA MARINE DE PLAISANCE EN ACIER

Il n'est pas question de faire l'inventaire complet des bateaux construits dans le passé en fer puis en acier. C'est le fait des livres spécialisés et il en existe beaucoup.

Nous pouvons jalonner, ici, la longue route de la construction en fer-acier.

Dès le XVII[e], on trouve mention de l'emploi du fer dans la construction navale. Mais comme on ne savait pas le protéger de la corrosion due à l'immersion en eau de mer ou de la pousse de la végétation, le fer servait à renforcer les bateaux en bois. On trouve ainsi des bateaux construits en chêne, acajou, teck, avec des varangues ou des membrures en fer. Puis on trouve des constructions mixtes. Le bas du bateau, immergé, (œuvres vives) est en bois. Le haut ainsi

que le pont sont en fer. On gagnait ainsi 30 % du poids ! On en était là vers 1800.

L'utilisation du fer à la place du bois était due d'abord à une pénurie de bois, chaque bateau consommant un très grand nombre d'arbres, les forêts se clairsemaient dangereusement. Puis le métal convainquit par l'allègement qu'il autorisait. Et c'était fort utile pour augmenter la charge utile des navires de commerce. Vite, toute la flotte de commerce et de guerre fut faite en fer puis en acier. C'est encore le cas de nos jours. Les bateaux de guerre pour lesquels le coût de construction n'est pas très important et dont la vitesse par contre doit être grande, ont maintenant des superstructures en alliage d'aluminium. C'est le cas des navires de guerre rapides.

L'amélioration des échantillonnages commença entre 1850 et 1860. On calcula alors les structures ainsi que les formes qui auparavant étaient tout à fait l'œuvre artistique des charpentiers qui reproduisaient en les améliorant, les courbes que leur œil avait enregistrées et que leur expérience avait retenues.

Le premier règlement de construction des navires en fer date de 1851.

1866 Deux Américains de New-York traversent l'Atlantique sur *Red-White-and-Blue* » une petite baleinière de 8,40 gréée en trois-mâts carrés, construite en fer. Supercherie ou vérité ? Red-White-and-Blue exista bel et bien.

1893 « *Vétille* » est un petit cotre aurique dessiné par Hammel. C'est un dériveur intégral de 10,05 mètres de coque, avec un bout-dehors, construit en tôles galvanisées à chaud et rivées. « *Vétille* » remporta toutes les régates auxquelles il participa jusqu'en 1935. « *Vétille* » appartenait à un régatier nantais qui l'avait fait construire pour la course en mer et en rivière.

Longueur : 10,05 m ; longueur à la flottaison : 9,15 m ; largeur : 2,05 m ; tirant d'eau : 0,40/1,20 m ; poids de coque : 900 kg. Voilure : 40 m².

1896 Trois ans après « *Vétille* », le chantier *Dubigeon* lançant à Chanteney-sur-Loire, le maintenant célèbre « *Belem* ».

« *Belem* » était un voilier de « petit tonnage » dont la vocation était le commerce. Il transporta le cacao entre le Brésil et la France pour les chocolateries Meunier. « *Belem* » effectua ainsi trente deux campagnes de 1896 à 1914.

Sous le nom de « *Fantôme* », ce bateau monta au Spitzberg en 1925 et alla à Montréal en 1937. On vit « *Fantôme* » à l'Ile de Wight et à Venise. Sous le nom de « *Giorgio Cini* » il fut transformé de trois-mâts barque en trois-mâts goélette. Il demeure à Venise de 1976 à 1979.

Ramené en France en 1979, à Brest d'abord, à Paris ensuite « Belem-Fantôme-Giorgio Cini » redevient

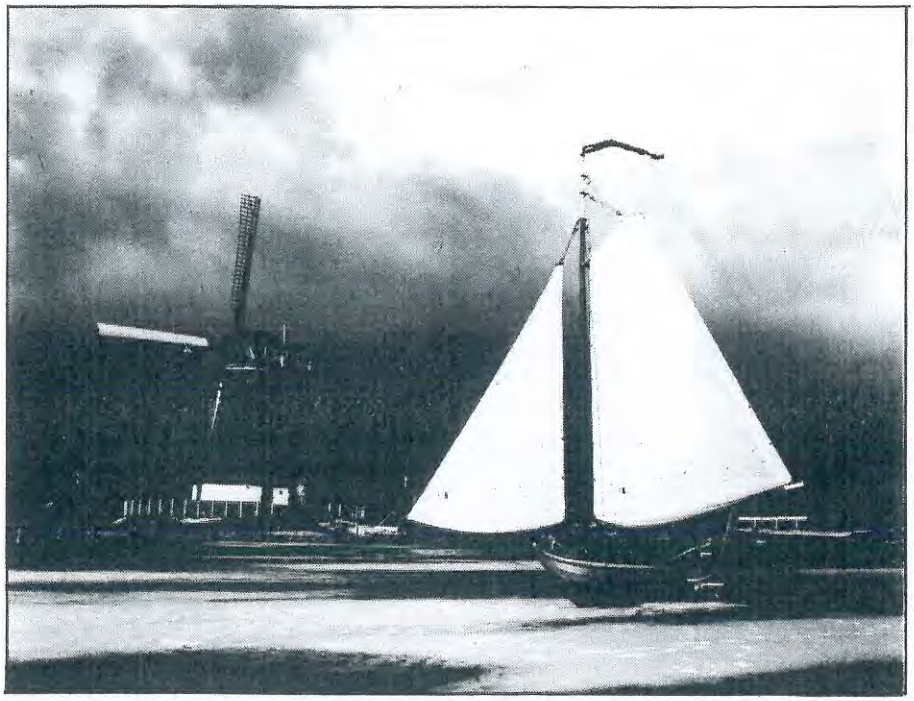
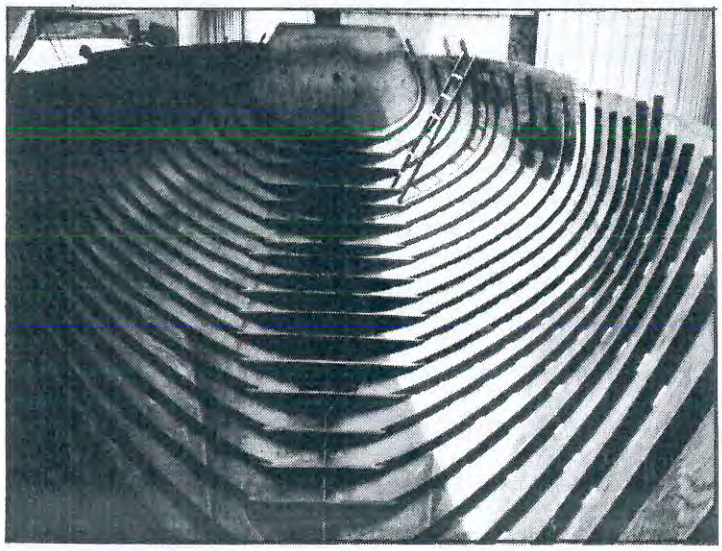


Photo E 9 : *Petit voilier traditionnel hollandais, en acier, monté sur patins, filant sur la glace (Photo Van Wijk).*

Photo E 12 : *Structure sur membrures au chantier Form'Océan.*



« *Belem* ».

Longueur : 51 m.
Beaupré : 7 m.
Largeur : 8,80 m.
Tirant d'eau : 3,50 m.
Jauge brute : 527 tonneaux (1.500 tonnes).
Lest en gueuses de fonte : 250 tonnes.
Voilure : 1.300 m².
Vitesse au moteur : 10 nœuds par mer belle
Vitesse à la voile : 10 à 11 nœuds par force 5 à 6.

1905 Onze navires à voile de 32 à 75 mètres sont mouillés derrière la pointe de Sandy Hook. Le départ de la « course *Kaiser* » est donné. Onze jours, seize heures vingt et une minutes plus tard « *Atlantic* » passait « *Bishop's Rock* » à l'entrée de la Manche, remportait la course et établissait le record non de l'Atlantique, mais d'« *Atlantic* ». Il fallut attendre 75 ans pour que Tabarly le batte, puis *Pajot* l'année suivante.

« *Atlantic* » était un trois-mâts goélette en acier, construit en 1905 :



Croquis E 4 : *« Vétille », sans doute le plus ancien voilier de plaisance français encore en état de naviguer. Construction acier rivée. Tôles galvanisées.*

Long. H.T: : 10,05
Long. pont : 9,15
T.E. : 1,20
Poids : 10.000
Voiles coton : 40 m²
Construction : 1893

Long de 57 m.
Largeur : 8,84 m.
Longueur à la flottaison : 41,76 m.
Tirant d'eau : 4,63 m.
Poids : 303 tonnes.
Voilure : 1.720 m².

Nombre de bateaux de la « *Coupe America* » furent construits en acier, les dernières années du XIX[e] siècle jusqu'à 1945. « *Vigilant* » est un des plus anciens « *classe J* » en acier qui remporta l'« *America Cup* » en 1893, battant « *Valkyrie 2* ». Puis tous les défendeurs et prétendants furent en acier en 1895, 1899, 1901, 1903, 1920, 1930, 1934 et 1947. Tous étaient des « *classe J* » mesurant par exemple comme le formidable « *Ranger* » recordman du Monde de vitesse instantanée jusqu'à ces dernières années ;

Longueur : 41,54 m.
Longueur à la flottaison : 26,51 m.
Largeur : 6,36 m.
Tirant d'eau : 4,57 m.
Voilure : 701,04 m².

« *Ranger* » au cours du dernier match qui opposa des « *classe J* » en 1947, battait « *Endeavour 2* » le prétendant anglais.

Ensuite, les challenges furent disputés par les 12 m JI en bois, qui mesuraient aux environs de 19 m.

Beaucoup de ces monstres aux pieds d'argile inauguraient des techniques modernes. Par exemple, les mâts en alliage d'aluminium, la construction en acier soudé, le lest en plomb moulé, etc. La masse métallique qu'ils représentaient intéressa beaucoup les militaires lors des guerres et nombre de ces superbes bateaux furent débités en tôles et en pains de plomb !

L'acier est éminemment recyclable !

Dans les années 65, la plaisance en acier explosa avec les grandes navigations de Moitessier sur « *Joshua* » et de Fougeron sur « *Madaillan* »». Mais aussi, avec les victoires en course des Admiralers américains « *Rabbit* » et « *Tina* » que vous retrouverez dans d'autres chapitres de cet ouvrage.

	Joshua	**Madaillan**
Longueur HT :	13,87 m	12 m
Longueur FL :	10,43 m	10,30 m
Largeur :	3,69 m	3,60 m
Tirant d'eau :	1,60 m	1,80 m
Voilures :	84 m²	100 m²
Poids :	14 tonnes	14 tonnes
Lest :	3,5 tonnes	4,5 tonnes
Architectes :	Knokker	Van de Wide

Citons aussi le « *Williwaw* » de *Willy de Ross* pour ses navigations lointaines et son passage du Nord-Ouest en 1977.

Longueur : 13 m.
Largeur : 3,80 m.
Poids : 19 t.
Voilure : 100 m².

Tous trois bien dans la lignée des voiliers de Colin Archer à quille longue et bout dehors.

Vinrent ensuite des voiliers plus légers des générations de construction amateur des années 70 avec le *Rêve d'Antilles, Troll, Galapagos 43, Stervenn* en général à double bouchain sur lisses, tandis que les unités qui les précédaient étaient sur membrures.

La Révolution venait avec *Stervenn* du type de réglage de la structure qui utilisait à fond le « *floating system* ».

Vinrent ensuite les *Cobalt, Damien 2*, de *G. Poncet* et beaucoup d'autres bateaux de construction amateur, fait social qui émerge des années 70. Peu à peu, l'acier est abandonné dans le domaine de la course. Mais je ne voudrais pas oublier dans ce sommaire historique, de mentionner le petit « *Listang* » vainqueur de la Quarter Ton Cup et le grand « *Club Méditerranée* », le plus grand voilier de plaisance actuel en acier.

Voyez les chapitres sur les exemples de structures, sur les petits bateaux en acier, les caractéristiques comparées, pour compléter ce tableau qui trace de 1800 à nos jours la rue des superbes routes de gloire de l'acier. Route qui porte les plus grands noms d'architectes, *Burgess, Herreshoff, Fox, Van de Wiele, Illingworth, Rhodes, Stephens, Carcano* et à peu près tous nos architectes français actuels. Qui n'envierait pas une telle couronne et un tel palmarès. *(Photos E 9 ; Croquis E 4).*

5

OPTIONS DE STRUCTURES EN ACIER

Voici deux chapitres sur les nouvelles options de structures pour l'acier et pour l'aluminium.

Vous allez voir, l'éventail des nouveautés s'annonce plus large pour l'aluminium ! La raison est simple et ne tient pas à des impossibilités matérielles mais à l'éventail des programmes de navigations plus vaste avec l'aluminium.

En acier, on va trouver, tout au moins en France, peu de bateaux de navigation côtière et davantage d'unités de croisière plus ou moins lointaine. Pas de bateaux de course.

En aluminium on va trouver beaucoup de bateaux de course, des bateaux de côtières et de croisière.

Il y aura plus de bateaux de navigation de très longue durée et circumnavigation en acier qu'en aluminium.

Comme la course est un fort vecteur de recherches et que la croisière lointaine est plutôt facteur de solidité et « *conservatisme* », ceci explique cela.

Voyons ici les différentes options de structures qui domineront la construction en acier des années à venir.

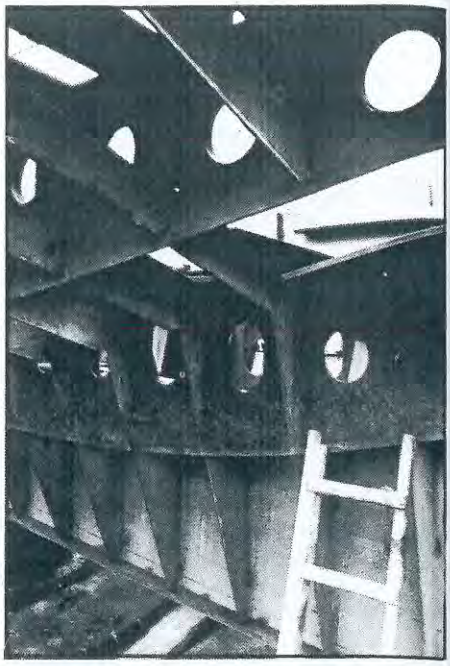


Photo E 13 : ***Construction carlinguée, détail.***

Les deux options de base sont :

- tôles fines et structure abondante, dense, serrée.
- tôles épaisses et structure peu existante.

La recherche d'allègement est réelle mais pas primordiale. Bien plus effective est la recherche du gain de temps de construction pour abaisser le coût du bateau à la fabrication et à la vente en diminuant le poids de matière première et le nombre d'heures de main-d'œuvre. En effet, si le grand bateau en acier est une unité de luxe (*Jongert, Nordia*, etc.) les petites et moyennes tailles sont destinées à des clientèles qui recherchent le bateau économique, le grand rapport solidité/prix.

Et là, l'acier est imbattable !

Quelles sont les options d'avenir ?

- la structure sur lisses réglables, le « *floating system* ».
- la construction mixte coque acier et pont inox.
- la construction sans structure.
- la construction à bordés galbés dans l'une ou l'autre des structures citées précédemment.

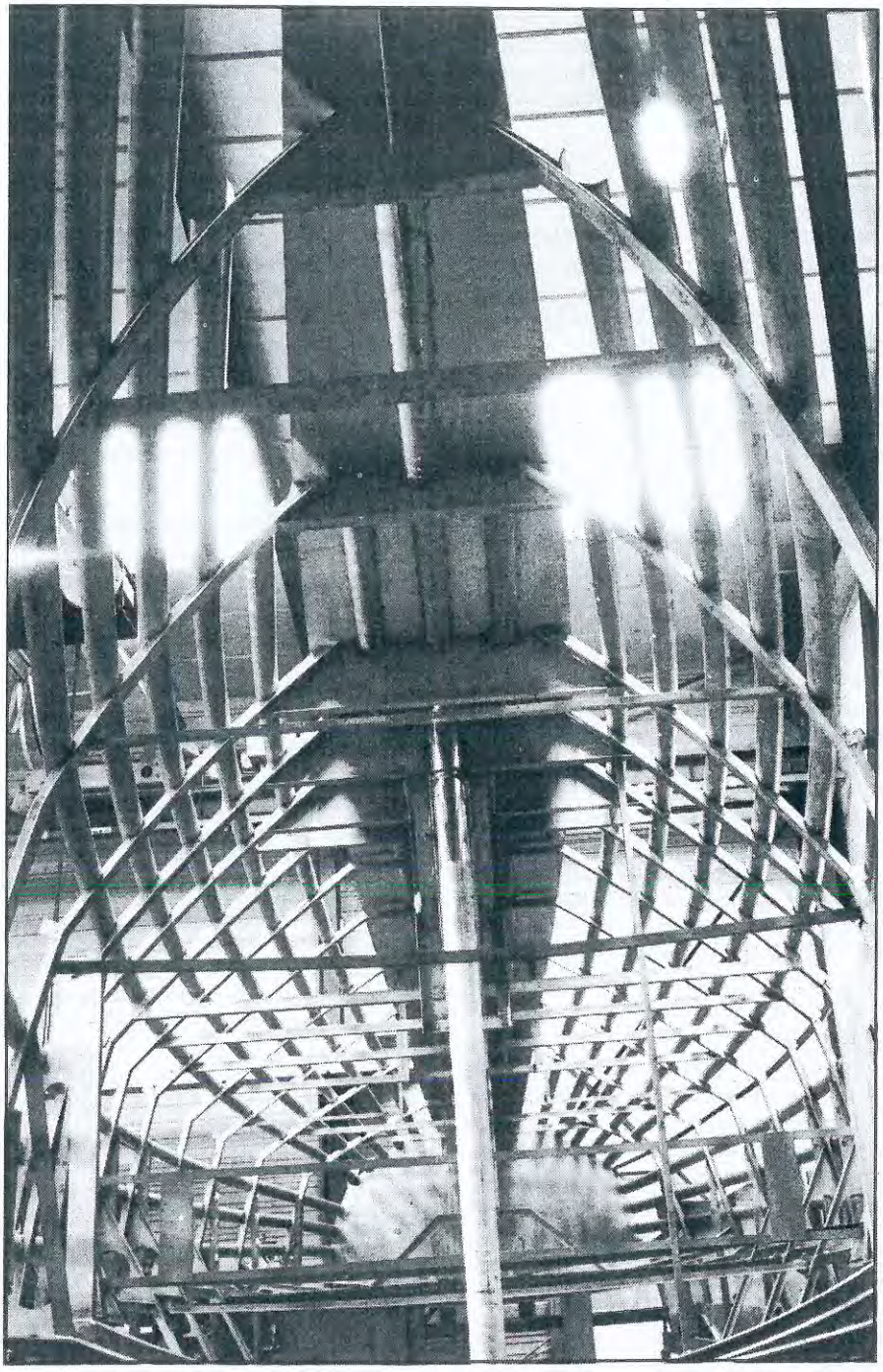
Quels sont les avantages et les particularités de ces différentes perspectives ?

LISSES REGLABLES

Ce type de construction permet de se passer de gabarits car le réglage se fait par l'encastrement des lisses en fers plats ou en T dans les membrures en fers plats ou en L. Le gain de temps est évident pour l'amateur qui construit sa propre coque. Le principe est valable aussi pour l'artisan qui débute dans la construction navale.

Réglables ou posées sur gabarit, les lisses représentent la solution la plus économique et la plus rapide pour produire des

Photo E 14 : *Très belle structure d'un « Trisinox », sur lisses en demi-tubes, vue de l'intérieur (Photo Limousin Bernard Entreprise).*



coques à bouchains comme en formes. Certains travaillent encore sur membrures mais ils se rendront compte tôt ou tard que le travail sur lisses est plus rapide et plus souple, c'est le cas de le dire.

La structure sur lisses réglables est la solution d'avenir pour le petit artisan et le constructeur amateur.

COQUE ACIER ET PONT INOX

Il ne s'agit pas réellement d'une option de structure, mais l'adoption de ponts en inox sur des coques en acier va devenir un des meilleurs atouts de la construction acier pour rivaliser avec l'aluminium sur le plan de l'entretien. L'entretien se verra en effet très simplifié sur le pont, là où il y en a le plus pour un bateau en acier ordinaire. Et la liaison d'un pont en inox avec une coque en acier ne pose pas le moindre problème de corrosion électrolytique à la différence de la soudure de pièces en inox sur une coque en acier sous la flottaison.

C'est aussi un bon moyen d'alléger le bateau par l'adoption de profilés tels que le L, le T ou le U. Profilés déconseillés en acier car seul le fer plat, et aussi le « *fer à boudin* » très peu utilisé, permet un bon nettoyage de la calamine et de la rouille sur toutes ses faces et sur la tôle.

Un bateau tout en inox pourra être très allégé. D'une part, grâce à ses caractéristiques de résistance de 30 à 50 % supérieures à celles d'un acier doux de bas de gamme. D'autre part, grâce à l'adoption citée plus haut de profilés en L, T ou U qui à inerties égales sont bien plus légers qu'un plat. L'allègement atteint 30 à 50 % sur les profilés concernés ce qui se traduit par un allègement général de 15 à 20 % du poids de la coque pontée non lestée.

Voyez le chapitre sur les aciers inoxydables pour les conseils sur leur utilisation et les nuances à choisir. De plus, étant amagnétique l'inox simplifie les problèmes de choix de compas lorsque le pont est en inox sur une coque en acier et les supprime quand coque et pont sont en inox.

TOLES EPAISSES

La construction visant à réduire la quantité de structure et donc à épaissir les tôles a, en général, comme but, l'abaissement du nombre d'heures de travail. L'adoption d'un gabarit est nécessaire. Ce gabarit est en général composé de membrures et de lisses. On borde les tôles de coque sans les lier au mannequin. On les renforce de quelques éléments de structure transversaux ou longitudinaux après retournement. Puis on ponte le bateau.

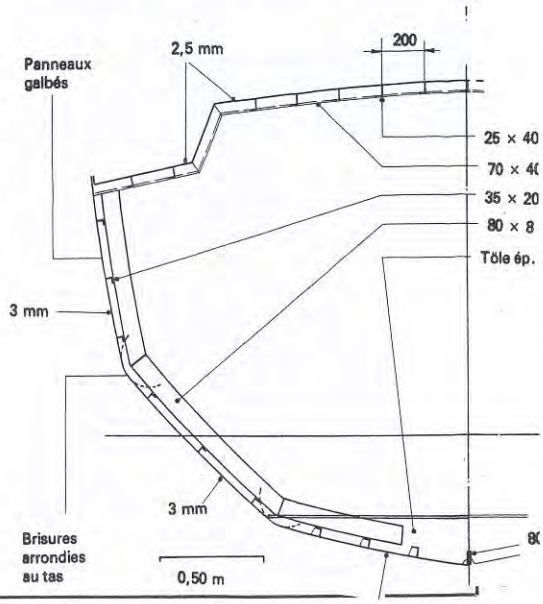
Le coût d'un tel bateau est abaissé par le petit nombre des éléments de structure, par le peu de rattrapages de planéité des tôles (grâce à leur épaisseur). Mais il est accru par le poids de la matière et l'investissement du mannequin. En effet, un bateau sur tôles épaisses sera toujours plus lourd qu'une unité en tôles plus minces mais plus structuré.

Ce procédé est assez courant en Hollande pour les petites unités qui sont en tôles de 3 avec fort peu de structure.

CONSTRUCTION A BORDES GALBES

Ce point est traité dans un chapitre particulier. Aussi, n'y reviendrai-je pas. Mais cette option de formes doit se développer dans l'avenir.

Croquis E 5 : *Coupe de structure du Vulcain 5 acier, plan Caroff.*



Plus joli que le bordé à bouchains et panneaux plans, moins cher que le bordé en formes chaudronnées, ce procédé devrait en toute logique trouver sa clientèle.

Ces diverses options me paraissent décrire les grands principes entre lesquels l'architecte, le constructeur et l'acheteur peuvent choisir leur futur bateau.

La solidité, toutes les formes de l'acier la possèdent à un point bien au-delà de la moyenne des autres matériaux.

La légèreté viendra de l'inox et d'une répartition judicieuse de la structure plutôt que de certains aciers spéciaux qui pèchent par un risque de rupture fragile avec une limite élastique faible en regard de leurs autres performances. Le faible entretien aussi viendra de l'inox. Soit d'une construction tout inox, coque et pont, soit du choix d'un pont en acier inoxydable sur une coque en acier doux. De toute façon, il faut disposer sur le pont un maximum d'acier inoxydable sous forme de balcons, chandeliers, leurs embases et celles de l'accastillage, cale-pieds, mains courantes, doublantes de guindeau, chaumards, pied de mât, encadrement de descente et de panneaux de pont.

Un pont en inox simplifie déjà les problèmes de compas en élargissant l'éventail des modèles possibles. Une construction tout inox supprime totalement les difficultés de trouver un bon compas. En effet, l'acier inoxydable est amagnétique et n'a pas d'effet perturbateur sur les compas. Pour l'acier doux, il faut choisir un compas compensable par deux boules de compensation et des aimants. Ce sera plus facile sur un compas de colonne éloigné des masses métalliques que sur un compas de roof. Une autre bonne solution, la meilleure mais la plus chère, est le lecteur de champ magnétique placé sur le mât, avec des répétiteurs.

L'économie sera le fait de la construction sur lisses, construction souple et réglable parfaite pour l'artisan et l'amateur.

Un bel éventail de choix pour l'acier qui reste un matériau prisé des artisans et des amoureux de longs voyages. Le matériau le plus solide après le *cupronickel*. *(Photo E 12 à E 14 ; Croquis E 5).*

6

UN PONT EN « INOX » SUR UNE COQUE EN ACIER DOUX

C'est une évidence et une certitude, de l'acier doux à nu et en atmosphère marine, ça rouille. Alors, il faut peindre l'acier, et si on le veut, on peut le revêtir d'un parement en bois ou d'un « tapis » antidérapant en liège aggloméré. Une fois protégé, l'acier ne s'abîme absolument plus tant que le revêtement est en bon état. Le pire, c'est que dans un bateau en acier, ce n'est pas tant le matériau qui demande de l'entretien, que ses « *habillages* ». Peindre l'acier ou le revêtir. Bon ! mais la peinture s'use dans les angles ! Arrondissons les angles sur un « *tas* » et protégeons-les sous un cale-pied, une main courante, une doublante en acier inoxydable. Là où il y a des ragages, il faut des « *doublantes* » en acier inoxydable ou des parements en un matériau résistant (bois, résine...)

S'y retrouvera-t-on dans ce patchwork de morceaux d'inox, de bois ou d'autre chose ?

Alors une idée vient : un pont qui ne s'oxyderait pas ! en effet, c'est une bonne idée. La coque s'abîme peu, sauf lors d'un abordage sur des cailloux, car un abordage avec un autre bateau abîme plus l'autre coque que celle faite en acier ! Le seul entretien usuel sur la coque est l'antifouling. L'acier n'a pas que des poubelles à montrer ! Il y a aussi de fort beaux bordés vieux de 10 ou 15, voire 20 ou 30 ans sans une seule tache de rouille !

Faire un pont en inox sur une coque en acier est une excellente idée. Voici pourquoi. Un bateau tout en acier, on sait ce que c'est. Le livre en parle d'abondance. Un bateau tout en inox coûte cher. Pour un kilo d'acier égal à 1, dans ces années 80, un kilo d'acier inoxydable convenable pour une coque est égal à 5. Pour un léger gain de poids seulement. Par contre, l'acier inoxydable qu'on peut utiliser non peint sur un pont est moins cher et le poids de cet inox n'est pas trop important.

Aussi, pour l'entretien, pour la solidité, pour la longévité, pour le prix, un pont en inox est-il une solution intéressante et le sera-t-elle de plus en plus dans l'avenir au fur et à mesure que les chantiers apprendront à le maîtriser.

La coque sera en acier doux = E.24 ou E.26, voire E.36, si le budget est plus large, sans que cette nuance apporte un avantage sensible. Les membrures et la structure de la coque seront en E.24 ou E.26, car la stagnation d'eau « *salée* » dans les fonds ne permet pas d'envisager l'emploi d'une structure en acier inoxydable soudée à de l'acier doux. La structure du pont sera en acier inoxydable, tout comme les tôles du pont.

Les nuances d'acier inoxydable choisies peuvent être = F.12.T : nuance utilisée par *Méta*, mais qu'il faudra peindre car cette nuance se corrode sous l'action de l'eau de mer.

316 et 316 L = nuances d'une haute qualité qui n'est pas nécessaire du tout puisque le pont n'est pas immergé.

304 et 304 L = ce sont les nuances qu'on peut conseiller car elles présentent le meilleur compromis de qualités et de prix. Elles ne nécessitent pas d'être entièrement peintes et tiennent bien à la corrosion en atmosphère marine hormis la totale immersion de longue durée. Voyez le chapitre sur les aciers inoxydables pour vous faire une idée plus détaillée sur ces nuances et leurs différences qui sont principalement d'ordre chimique.

Le F.12.T. est stabilisé au titane. C'est un acier inoxydable ferritique qui nécessite d'être peint. Il est parfaitement soudable. Les 316 et 316 L sont des aciers inoxydables austénitiques au chrome-nickel molybdène. Le 316 étant à faible teneur en carbone (moins de 0,07 %). Le 316 L étant à très faible teneur en carbone, moins de 0,03 %, et comprenant plus de nickel = 11,5 % contre 11 %. Les 304 et 304 L sont des aciers inoxydables austénitiques au chrome-nickel, donc sans molybdène. N'étant pas immergés, la présence de molybdène n'est pas nécessaire. Un pavé dans la mare des fabricants d'accastillage. Le 304 est à basse teneur en carbone, moins de 0,07 % ; 8,8 % de nickel pour le 304 appelé aussi NS.21.A. chez Ugine. 18 % de chrome et 9,3 % de nickel pour le 304 L appelé aussi NS.22.S. chez Ugine.

Le F.12.T. est appelé également 409.

Les appellations 409, 304 et 316 sont des désignations américaines (AISI) en passe de devenir internationales.

On utilise pour souder l'inox sur l'acier doux, en semi-automatique, des fils de la même nuance que l'inox.

Il faut ensuite décontaminer et passiver l'acier inoxydable pour que l'oxydation du chrome qui auto-protège sa surface se fasse avant celle des particules de fer.

Un seul souci : l'électrolyse entre l'inox et l'acier doux. Certes pas à l'intérieur du bateau. Pas non plus avec un bateau dont le pont est soudé à la coque en angle, sans pavois.

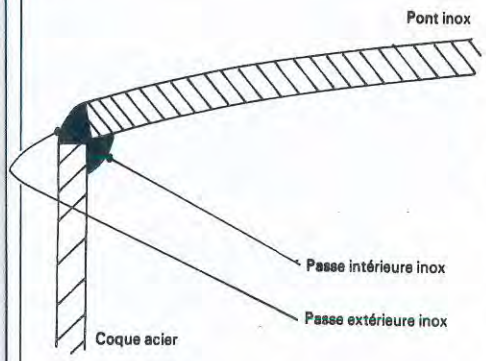
Mais songez au pont en inox avec un pavois constitué par le haut du bordé, en acier doux. Normalement, tout doit bien se passer car cet angle aura été peint. Mais la stagnation d'eau de mer peut créer le pourrissement des peintures et l'électrolyse.

Des solutions :

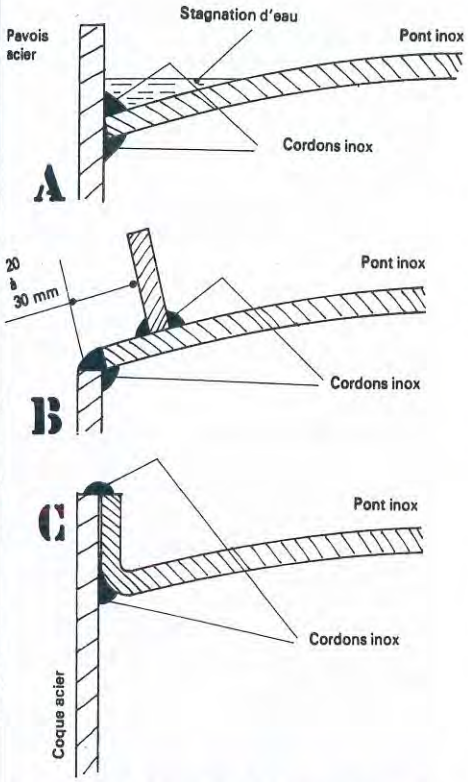
- D'abord percer un grand nombre de dalots d'évacuation d'eau et bien arroser les soudures à ces endroits pour qu'il n'y ait pas la moindre flaque stagnante.
- Ne pas opter pour un pavois fait par la tôle du bordé en acier prolongée au-dessus du pont. Mais, rapporter à 2 ou 3 cm en retrait un faux pavois en inox ainsi que je l'explique dans le chapitre sur le pavois et les cale-pieds. Autre solution seulement possible pour des chantiers professionnels. *Brument* replie le pont des *Vulcain 5* en une bande de tôle de 2 à 3 cm de haut tout autour du bateau. Dans le cas d'un bateau à coque d'acier et pont en inox, c'est ce pont en inox qui est donc replié. D'une part, on ne trouve pas de soudure d'angle. D'autre part, le pont

est soudé à la coque, entre autres, entre le haut de ce bord replié et le pavois qui lui est constitué par le bordé prolongé. Aucun risque d'électrolyse dans ce cas. Comme vous le voyez, cette technique possède des atouts de premier ordre pour devenir la pratique la plus recherchée dans l'avenir de la construction en acier. A condition de respecter les précautions que je viens de vous décrire. Quant à la peinture de ce pont en inox, ou au collage de revêtements antidérapants, reportez-vous à ce chapitre qui en détaille les nécessités. *(Croquis E 6 et E 7).*

Croquis E 6 : ***Liaison pont inox/coque acier en angle.***



Croquis E 7 : ***Un pont en inox sur une coque en acier doux***



A : le pavois est en acier. En cas de stagnation d'eau et de dégradation des peintures, une corrosion électrolytique n'est pas impossible.
B : liaison en angle et cale-pied rapporté, rentré. Pas de corrosion à redouter.
C : liaison avec pont plié employée par Brument sur les Vulcain. Pas de corrosion possible.

7

LES ACIERS PATINABLES COR-TEN ET INDATEN

GENERALITES

Les aciers patinables sont des aciers faiblement alliés, qui, de ce fait, présentent une bonne résistance à la corrosion atmosphérique.

Ils peuvent être utilisés nus, face à la corrosion atmosphérique rurale ou citadine, voire brouillard salin. Des essais d'immersions et émersions alternées ont été faits et sont satisfaisants pour l'eau douce.

Le problème se complique pour l'eau de mer, et il semble bien qu'on ne puisse pas concevoir d'utiliser ces aciers, nus, pour la construction navale.

Cependant, ces aciers, qui sont en général, à hautes performances, peuvent être peints et, ainsi revêtus, conviennent à la construction de bateaux. Les peintures adhèrent bien sur la plupart de ces aciers patinables dits *« à résistance améliorée à la corrosion »*.

MARQUES, NUANCES

Il existe quelques marques d'aciers patinables européens. Le plus connu est le COR-TEN, fabriqué en Europe du Nord : Hollande, Allemagne, et utilisé en Hollande, Allemagne et Belgique principalement.

L'Indaten est fabriqué par Usinor et de ce fait est le plus souvent utilisé en France.

Ces sont les nuances de l'Indaten qui vont ici être les plus étudiées. Il en existe quatre : Indaten 255, Indaten 295, Indaten 355 A, Indaten 355 B.

L'Indaten 355 A comporte aussi du phosphore. Il ne peut être livré en épaisseurs supérieures à 12 mm. De même pour l'Indaten 295.

FABRICATION, PRODUITS CARACTERISTIQUES

Ces aciers sont des aciers calmes à grain fin élaborés dans des fours à oxygène pur, ou Martin, ou électriques.

A partir des lingots *Usinor* fabrique les demi-produits habituels d'où sont laminés les produits suivants : tôles, plaques, poutrelles, laminés marchands bruts de laminage.

Les caractéristiques mécaniques et dimensionnelles sont garanties à l'état de livraison. Des essais de traction, pliage et résilience (Charpy V) sont effectués.

Les nuances 355 A et 295 sont recommandées pour l'utilisation à l'état nu en faibles épaisseurs. Les nuances 355 B et 255 conviennent pour les ouvrages d'art. La nuance 355 A convient lorsqu'on recherche une bonne aptitude à la transformation à froid, au chaudronnage. Sa haute limite élastique le rend comparable aux aciers E.36.

C'est la nuance 355 A qui convient le plus souvent à la construction navale.

Re mini N/mm² = 355 (pour des épaisseurs de 3 à 30 mm).
A % mini = 21.
Rm mini N/mm² = 480 (ou 49 kgf/m²).
Pliage en long = 2,5 e.
Pliage en travers = 3 e.
Résilience Charpy V, long en kgm/cm² =
valeur moyenne = 3,5.
valeur Individuelle = 2,6.

RESISTANCE A LA CORROSION

Depuis longtemps, on ajoute du cuivre à l'acier doux, pour améliorer sa résistance à la corrosion. L'adjonction de phosphore, chrome, nickel et molybdène améliore leur résistance à la corrosion,

NUANCES D'INDATEN	Analyse chimique (en %)										
	C Maxi	Nn	Si	P	S Maxi	Cu	Cr	Ni Maxi	Mo	Nb	Al total
255	0,13	0,20 à 0,60	0,10 à 0,40	⩽0,03	0,030	0,25 à 0,90	0,40 à 0,80	0,65	—	—	⩾0,015
295	0,13	0,20 à 0,60	0,10 à 0,40	0,07 à 0,15	0,03	0,25 à 0,55	0,30 à 1,25	0,65	—	—	⩾0,015
355 A	0,12	⩽0,90	0,20 à 0,75	0,07 à 0,15	0,03	0,25 à 0,55	0,30 à 1,25	0,65	⩽0,20	—	⩾0,015
355 B	0,15	0,50 à 1,50	0,20 à 0,50	⩽0,03	0,03	0,25 à 0,55	0,40 à 0,80	0,65	⩽0,20	0,015 à 0,060	⩾0,015
Corten	0,12	0,20 à 0,50	0,25 à 0,55	0,07 à 0,15	0,05	0,25 à 0,55	0,30 à 1,25	0,65	—	—	

mais augmente sa ténacité et facilite le laminage. Dans les pays anglo-saxons, ces aciers sont appelés « *corrosion resistant high Strength low alloy steels* » et sont définis par l'ASTM. A. 242. Aux U.S.A., ils sont appelés « Weathering Steels » (aciers patinables). La présence du cuivre enrichit la couche d'oxydes qui se forme à la surface du métal et constitue une patine compacte, élastique et adhérente. Le phosphore augmente l'effet du cuivre et provoque une oxydation régulière sans piqûres. Il accélère aussi l'effet de cicatrisation lorsque la patine protectrice est abîmée. Les porosités de la couche d'oxydation sont bouchées par les sulfates basiques formés par le chrome et le nickel, comme sur un acier inoxydable. Le métal est ainsi isolé de l'oxygène de l'air.

INFLUENCE DU MILIEU

La formation, l'adhérence, la porosité de la couche de patine dépendent de la nature des aciers considérés, mais aussi des conditions ambiantes : hygrométrie, température, vents et pluies, alternance de mouillé et de sec, période initiale d'exposition, rosée, présence d'eau salée...

La perte de poids par corrosion varie ainsi :

atmosphère rurale : 0,02 gramme/dm^2,
atmosphère rurale humide : 3,8,
banlieue : 5,
atmosphère marine : 6,5,
atmosphère marine tropicale : 48,5.

Avec le temps la courbe de la corrosion en atmosphère tend vers zéro grâce à l'isolation de la couche de patine alors que celle de l'acier croît à peu près linéairement.

FORMATION DE LA PATINE

On assiste au départ de l'exposition d'un échantillon à une corrosion uniforme sans piqûres. Une couche orange se forme, qui vire ensuite au brun. Dès que survient une période sèche, la couche de patine se déshydrate et devient adhérente ainsi que tenace et imperméable. On comprend dès lors, qu'il est impossible d'envisager des bateaux en aciers patinables laissés nus. Ils devront être peints. Lors d'un accident par contre la couche de patine protègera le métal de toute corrosion pénétrante. Ce qui n'est pas si rapide qu'elle impose au propriétaire d'intervenir par une retouche de peinture avec un caractère d'urgence. Pour les aciers patinables comme pour les aciers doux, le métal n'est pas le problème en soi. Le problème, la raison qui impose d'intervenir dans les semaines qui suivent l'accident, est le risque d'élargissement de la surface de peinture à refaire si on laisse l'humidité s'étendre entre le métal et le revêtement peint qu'elle décolle petit à petit.

La présence d'eau d'eau de mer empêche même la formation de la patine protectrice. L'immersion aussi naturellement.

TENUE DES PEINTURES

D'après les essais, la tenue des peintures sur un acier patinable serait aussi bonne, voire meilleure que sur un acier doux. En atmosphère rurale par exemple, on peut la qualifier de meilleure, car la patine empêche la diffusion de la rouille lorsque, suite à un choc ou une usure, le film de peinture est rayé ou arraché. Mais en présence d'eau de mer ou en immersion dans l'eau de mer, ce raisonnement ne tient pas à cause de l'incertitude ou de l'impossibilité de la formation de la patine. La corrosion sera sans doute plus lente mais cela implique que l'on compare deux bateaux laissés avec une peinture en piteux état ou mal peints. Je crois qu'on peut tout simplement concevoir de ne pas laisser le bateau en arriver là et ce livre donne bien des solutions pour éviter au bateau de se transformer en tas de rouille !

La mise en peinture d'un acier patinable se fait de la même façon que celle d'un acier ordinaire. Un sablage précède l'application absolument immédiate du système de peintures. La surface métallique doit être décalaminée (oxyde produit par la transformation à chaud de l'acier) et dégraissée. Son grain est amélioré par le sablage. Le métal ne doit pas rester exposé à l'air entre le sablage et la peinture, du fait de la grande vitesse de réaction de certains composants. On observe aussi ce phénomène avec l'acier inoxydable dont le chrome réagit et se patine dans les heures qui suivent sa mise à nu. La mise en peinture doit précéder cette réaction qui se produit en moyenne dans les six à dix heures qui suivent le sablage.

LE TRAVAIL DES ACIERS PATINABLES

Il n'est pas différent du travail des aciers doux ou au cuivre de même qualité. Le soudage n'appelle pas de remarque particulière si ce n'est, le risque de fissuration à cause de la présence des contraintes de la teneur en hydrogène et de la structure métallographique partiellement ou totalement martensitique.

Les aciers patinables se soudent en manuel avec électrode, ou en semi-automatique sous gaz. Le mode opératoire est voisin de ce que nécessite l'acier doux ; chanfreins, préparation des rives, etc.

Il faut dégraisser le métal et le nettoyer ; ébavurer les bords. On pointe sérieusement avant de souder et on pratique un talon et un préchauffage.

On soude avec des électrodes basiques tout à fait sèches, étuvées.

On trouve le métal d'apport électrodes ou fil, chez Commercy, Etarc, Saf, Sarazin et d'autres fournisseurs.

CONCLUSION

Je ne pense pas qu'on puisse sérieusement invoquer la patine de l'Indaten ou du Cor-Ten comme raison de choisir ces types d'aciers.

En immersion ou simplement tout près de l'eau de mer, la patine ne se forme pas ou n'adhère pas !

On choisira un de ces aciers, selon la région où le bateau sera construit, pour ses caractéristiques mécaniques qui sont celles d'un bon acier, sans aucun doute comparable à l'E.36.

Naturellement, le prix sera aussi un élément important participant à la décision.

8

LE COLLAGE DE L'ALUMINIUM

Le collage de deux pièces d'aluminium l'une sur l'autre ne pose pas un problème différent de ce qui est exposé pour les aciers.

L'assemblage doit être conçu pour travailler dans le plan du joint ; sans arrachement excentrique, c'est-à-dire loin du centre du collage, près des bords de la pièce ; en compression plutôt qu'en traction arrachant les pièces.

L'assemblage doit être fait dans les meilleures conditions de température, en général plus de 20° ; d'hygrométrie, 65 à 85 % ; d'épaisseur de joint et de temps de polymérisation.

Il doit aussi être réalisé avec des surfaces de recouvrement suffisantes et tout à fait propres.

Or pour l'aluminium et ses alliages, la difficulté vient de la formation de l'alumine, oxydation de surface qui protège ensuite le métal mais est indésirable pour le collage.

Il faut donc effectuer le collage sur des surfaces exemptes d'alumine. On peut désoxyder le métal par dérochage chimique ou mécanique. L'avantage du sablage ou du brossage mécanique sera de donner au métal une micro-géométrie d'accrochage favorable aux caractéristiques mécaniques de l'assemblage. Le grain du sablage étant plus favorable que celui du brossage.

Il est possible aussi d'effectuer un ponçage à la toile émeri avec un grain de 300 dépolissant le métal sans le rayer.

On dégraisse l'aluminium dans un bain d'acide sulfurique concentré (poids spécifique 1,82) en quantité de 7,55 l ; d'acide chromique en quantité de 2,5 kg dans 40 l d'eau. On peut remplacer l'acide

chromique par du bichromate de sodium en quantité de 3,75 kg. Le bain est chauffé : à 60 ou 65° C pendant trente minutes. On rince à l'eau froide puis à l'eau chaude, et on sèche. Le collage doit être fait aussitôt après le dégraissage.

L'aluminium anodisé doit être très sérieusement dégraissé. Un dépolissage peut être nécessaire si l'aspect de surface initial est trop lisse.

Préparation	Résistance en bars	Type de rupture
Dégraissage seul	28	Adhésive, Cohésive
Ponçage seul	33	Cohésive
Ponçage et dégraissage	36	Cohésive

Ces chiffres nous ont été communiqués par la société Sika. Les expériences ont été faites avec la colle Sikadur 31 Colle.

Les prescriptions pour le collage de l'aluminium suivant celles qui s'appliquent à la peinture des alliages d'aluminium.

Voyez l'expérience de construction collée réalisée par la société suédoise Sapa sur le « Profilen ». Une expérience française étant aussi en cours chez Brument avec un type amélioré de profilés.

On peut aussi contre-coller une mousse ou du balsa bois debout sur de l'AG4. Pour réaliser un sandwich il faudrait ainsi contre-coller deux épaisseurs d'aluminium, une de chaque côté de l'âme. Nul doute qu'on obtienne ainsi un sandwich intéressant par son poids. Pour le moment la difficulté réside dans la mise en œuvre, la nécessité d'un collage parfaitement sûr, sous pression et à chaud.

COLLAGE ET CORROSION

On parle parfois pour isoler l'intérieur d'un bateau en aluminium, de coller de la mousse contre sa face intérieure ou d'y expanser directement de la mousse de polyuréthane.

A cela, méthode avec laquelle je ne suis pas en accord, je répondrai qu'on se place dans une situation périlleuse à long terme.

A court terme c'est parfait, rapide, peu coûteux. On expanse de la mousse de polyuréthane, présentée en deux composants qui en se mélangeant augmentent de volume, ou projetée sous pression. La mousse adhère contre la tôle et les profilés.

A moyen terme, il y a fort risque de corrosion dans les zones où la mousse n'adhère pas bien au métal. On retrouve exactement un schéma décrit dans « l'Entretien du bateau » et concernant la peinture.

Une peinture cloquée voit se développer un effet de pile Evans, pile par aération différentielle. Entre les zones normalement oxygénées, là où la peinture adhère bien, et les zones cloquées où l'oxygénation est déficitaire commence une réaction électrolytique.

Les zones cloquées sont anodes. Les zones saines sont cathodes. De plus, la cause du cloquage, qui peut être des traces graisseuses ou d'autres causes, attaque aussi le métal.

Là où la mousse adhère bien, il ne se passe rien. Là où elle ne touche pas le bordé, peut se développer une corrosion électrolytique par aération différentielle. Et les zones où la mousse ne touche pas le bordé seront nombreuses ! D'abord là où elle se décollera accidentellement. Là où des vibrations ou des déformations de la tôle la décolleront. **Là où elle n'aura pas pu suivre le relief** : à l'angle des éléments de structure et des tôles, derrière les ailes des T et des L, à l'intérieur des U, etc.

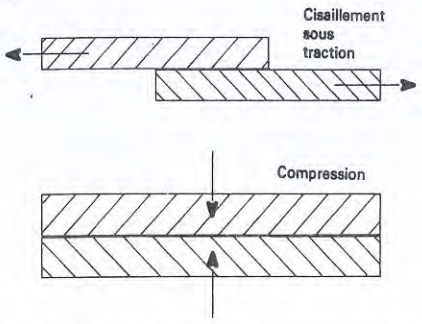
Non, ça n'en vaut pas la chandelle !

Certes, cette méthode est exploitée.

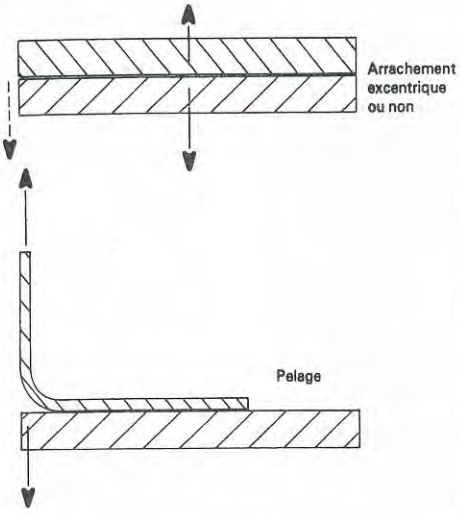
Dans de très grosses unités où la dimension des structures et leur espacement rend possible l'expansion de la mousse dans les recoins qui déjà sont de grande taille. Et puis la tôle de bordé est épaisse. Elle ne vibre pas, ne joue pas comme des tôles fines sous l'effet de flexions alternées. Dans des camions. Dans les sous-marins (en acier).

Je déconseille cette méthode pour nos bateaux de plaisance en aluminium, et encore plus en acier ! *(Photo E 17, croquis E 10 à E 12).*

Croquis E 10 : *Bonnes conceptions de joints collés*



Croquis E 11 : *Mauvaises conceptions de joints collés*



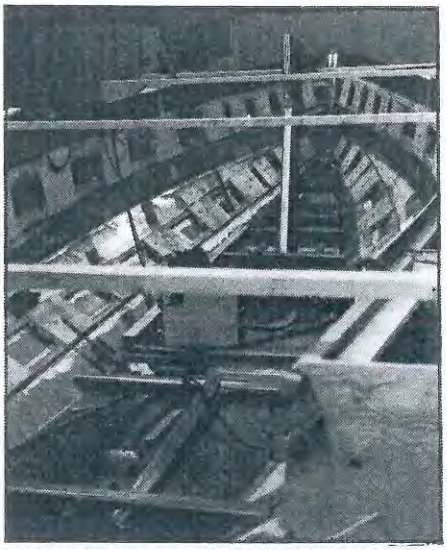
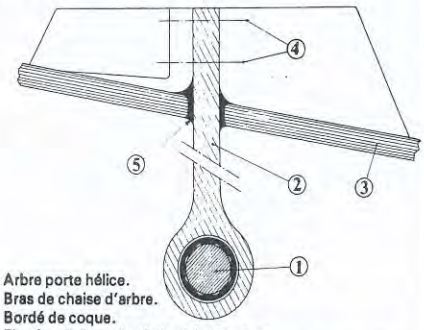


Photo E 17 : *Ici, les lisses sont en bois, collées au bordé en aluminium. On les voit ici avec leurs positionneurs (carrés de bois) qui sont enlevés ensuite (Photo Chantier du Port).*

Croquis E 12 : *Collage d'une chaise d'arbre d'hélice (Dessin Sika).*



1) Arbre porte hélice.
2) Bras de chaise d'arbre.
3) Bordé de coque.
4) Fixation du bras de chaise à la structure.
5) Joint SIKA réalisé avec Sikaflex 221 (ex. Induflex 11) absorbant les vibrations de torsion de l'arbre porte hélice tout en assurant l'étanchéité.

9

LE COLLAGE DES ACIERS

Le collage de l'acier doux sur lui-même est une technique qui peut être promue à un avenir brillant. Mais il faut encore être circonspect car il y a loin de l'expérience à la mise en pratique, et encore plus loin jusqu'à la généralisation.

Pour le collage, on note :

- l'abaissement des coûts d'outillage et de main-d'œuvre,
- la diminution possible des épaisseurs,
- le mariage possible de métaux différents sur un même bateau sans avoir recours au rivetage ou au boulonnage donc à des opérations longues et délicates.

Contre le collage, on retient :

- la difficulté d'être certain du résultat,
- la nécessité de conditions de température, d'hygrométrie et d'abri rigoureusement respectées par un personnel sérieux et averti, qualifié,

● la difficulté de prévoir les réactions des éléments assemblés lors des chocs,
● la difficulté de prévoir la tenue des collages aux vibrations des bateaux à moteur.

Mais on peut distinguer de toute façon le fait de coller telle ou telle pièce ou une zone d'un bateau, avec le fait de construire entièrement un bateau par collage !

Voyons d'abord le principe du collage, les précautions à prendre pour l'acier doux et l'analyse des colles et des expériences de collage.

PREPARATION DU METAL

L'acier doux doit être dégraissé et sablé SA 3 ou SA 2/1/2.

Cette micro-géométrie qui accompagne la désoxydation est capitale.

La dureté de l'acier doux est bien moins grande que celle de l'acier inoxydable, le collage de l'acier doux en sera facilité. Les surfaces seront pincées le temps de prise du collage et pour les faibles épaisseurs, une bande de tôle plus épaisse, ou de bois sera interposée pour répartir cette pression.

On peut, en effet, réduire de beaucoup les épaisseurs collées par rapport aux épaisseurs soudées. On convient qu'un amateur déforme énormément des tôles de moins de 3 mm et qu'un professionnel n'a pas intérêt à descendre en dessous de 2,5 mm. A 2 mm, il soude encore bien, mais le rattrapage des déformations coûtera cher ! Coller des tôles, permettra de descendre à 15 ou 20 dixièmes l'épaisseur des tôles, ce qui mettra des bateaux de 6,50 à 9 mètres à des poids plus intéressants. Des bateaux de course ont été faits en acier, j'en parle dans d'autres chapitres. Le collage serait une étape intéressante vers l'allègement des bateaux en acier.

Les colles

Pour le collage des revêtements sur les métaux, on utilise, entre autres :

● la Sikaflex 221, mastic colle,
● la Sikadur 31,
● l'Araldite AV 138 M,
● l'Araldite AW 134 B et N.

Pour le collage des métaux entre eux, et spécifiquement de l'acier doux, on utilise :

● la Sikadur 31,
● l'Araldite AW 134 B et N avec durcisseurs HY 994 et HV 997,
● la Sikadur imprégnation,
● la Sikafloor 94.

Dans l'ensemble, il est conseillé par Sika, un dégraissage du métal, un sablage, puis un lavage à l'alcool à brûler. Puis, juste après le séchage de l'alcool, on applique un Sika Wash Primer, sans attendre plus longtemps. Après 24 h, le Wash Primer étant sec, on applique la colle époxy qui, pour les bateaux, sera de type semi-rigide, voire légèrement flexible. Donc, des types Sika Imprégnation ou Sikafloor.

La consommation de ces deux colles de type époxy est d'environ, selon la rugosité du métal, de 0,2 à 0,5 kg par m².

CARACT.	COLLES SIKA		
	SIKADUR IMPREGNATION	SIKA FLOOR 94	SIKADUR 31
Adhère sur	Tous matériaux, verre, acier, aluminium, etc.	Tous métaux, bois, matières synthétiques, etc.	La plupart des matériaux, aciers, alu, verre, etc.
Type	Légèrement flexible	Semi-rigide	Rigide
Nature	Epoxy à 2 composants sans solvant	Epoxy à 2 composants sans solvant	Epoxy thixotrope à 2 composants sans solvant
Couleur	Ambré	Ambré	Gris
Application	Brosse, rouleau, pulvérisateur	Pinceau, rouleau, pulvérisateur	Rattrape les irrégularités des pièces
D.P. U 10° 20° 40°	12 h 6 h 2 h	1 h 15 45 mm 20 mm	1 h 30 40 mm 20 mm
T° minimum du support	5° C	5° C	5° C
T° optimale	20 à 50° C	5 à 25° C	10 à 30° c
Densité du mélange Viscosité à 20° C R. compression Traction par flexion Allongement à la rupture Adhérence sur acier poli Traction	1,1 2.800 CPS 700 kg/cm² 400 kg/cm² 15 % –	1,05 450 CPS 800 kg/cm² 500 kg/cm² 5 % 150 kg/cm² 400 kg/cm²	1,7 800/900 400/500 – 250 250/350

Il est hélas très difficile de comparer les tableaux entre eux, car les caractéristiques citées ne concernent pas les mêmes expérimentations ou ne sont pas données dans des unités identiques. C'est une manie déplorable des fabricants, quelle que soit leur origine.

COLLES CIBA-GEICY				
CARACTERISTIQUES	ARALDITE AV 138 M		ARALDITE AW 134 B ET N	
	DURCISSEUR HV 998	DURCISSEUR HY 2978	DURCISSEUR HY 994	DURCISSEUR HV 997
Type	Semi-rigide	Semi-rigide	Semi-rigide	Semi-rigide
Nature	Epoxy à 2 composants sans solvant	idem	idem	idem
Adhère sur	Tous matériaux et plastiques		Tous matériaux et métaux	
Couleur	Brun et beige		Beige et blanc	
Application	Raclette, pinceau, pulvérisateur			
Viscosité à 25°C Densité à 25°C	80.000 1,7	30.000 1,2	–	–
Module d'élasticité	4.000	3.500	3.500	2.000
Durcissement 10°C Durcissement 23°C Durcissement 40°C	24 h 8 h 2 h	48 h 16 h 4 h	– 24 h 6 h	24 h 8 h 3 h
T° conseillée ambiante	20°C	20°C	20 à 40°C	20 à 40°C
R. cisaillement à 20°C N/MM2 Fatigue, nombre de cycles Consommation d'adhésif Epaisseur optimum du joint	13 à 21 10,5 à 10,6 300 g/m² 0,1 à 3 mm	31 à 21 10,5 à 10,6 300 g/m² 0,1 à 3 mm	12 à 25 – 250 g/m² 0,1 à 2 mm	13 à 28 – 250 g/m² 0,1 à 0,3 mm

DES EXPERIENCES DE COLLAGES D'ACIER DOUX

Pour assurer un bon collage, il faut tout d'abord choisir la bonne colle, le bon durcisseur. Puis il faut bien préparer les surfaces à assembler et effectuer l'assemblage dans les conditions satisfaisantes au point de vue de la température, l'humidité, la pression, l'épaisseur du joint. Et, bien entendu, le joint collé ne sera bon que s'il est bien conçu. CIBA-GEIGY dit que le joint de colle doit être conçu pour utiliser pleinement les caractéristiques de l'adhésif : ; il doit tenir compte des contraintes de cisaillement sous traction, à la pression ou de traction ; il doit éviter les charges excentriques à la traction ou au pelage. La charge doit se faire dans le plan du collage ou le comprimer et non l'arracher par un des bords du joint. Une répartition de l'arrachement sur toute la surface du collage est admise. En passant, on note que de faibles épaisseurs ne sont pas favorables à la bonne répartition des efforts à moins qu'on leur ajoute des renforts locaux. Nul doute que les constructions collées s'avèrent plus onéreuses que prévu initialement.

Citons maintenant des expériences de collages faites sur les aciers par la société SIKA.

Dans un chapitre à part, je cite l'expérience suédoise du « PROFILEN » qui concerne la construction d'un bateau de course en profilés collés.

RESISTANCE AU CISAILLEMENT

Essai fait par la société SIKA en 1970.

Deux types d'éprouvettes :

- sans primaire ;
- avec primaire Sila Wash Primer 2 C appliqué 24 h avant le collage.

Eprouvettes en acier doux 7,50 × 0,5 × 0,5 cm, sablées et collées sur 3,75 cm de large.

Durée de polymérisation : 7 jours.

Température : 20°C.

Hygrométrie : 65 % d'humidité relative.

Eprouvette	Charges de rupture en D a N	Contrainte en bars	Moyenne	Mode de rupture
Sans primaire	2.860 1.980 2.620	153 106 140	133	Cohésif
Avec primaire	2.550 2.410 2.490	136 129 133	133	Cohésif

TRACTION

L'essai est réalisé selon la norme NF T 51 034 sur des éprouvettes ISO, à 20°C, après 7 jours de polymérisation, à la vitesse de 1 mm/minute. Mesure des allongements = micro-extensiomètre. Espacement initial des témoins = 50 mm.

Epais. des éprouvettes (mm)	Effort de rupture D a N	Contrainte de rupture daN/cm²	Contrainte moyenne	Allongement à la rupture	Allongement moyen
4,2	87,2	208		0,28	
4,1	85,0	207		0,27	
4	79,6	199	217	0,23	0,31
4,4	114,0	259		0,42	
4,2	88,0	210		0,33	

ESSAI SUR EPROUVETTE EN ACIER INOXYDABLE LISSE

Colle : SIKADUR 31 Colle

Les éprouvettes en acier inoxydable n'ont pas été dépolies par sablage, mais seulement dégraissées.

Adhérence après 7 jours : 16 bars.

ESSAI SUR EPROUVETTE EN ACIER INOXYDABLE SABLEE

Colle : SIKADUR 31 Colle.

L'éprouvette en acier inoxydable est sablée pour lui donner une micro-géométrie d'accrochage et dégraissée.

Adhérence au bout de 7 jours : 32 bars.

ESSAIS DE COLLE SIKADUR-IMPREGNATION

	Préparation de l'éprouvette	Résist. en bars
Sans Primaire	Sablage	54
	Meulage avec disque abrasif	41
	Ponçage mécanique, rotatif	37
	Décapage chimique	25
Avec Primaire	Sablage + Sika Wash Primer 2 C	51
	Meulage + S.W.P. 2 C	44
	Ponçage + S.W.P. 2 C	32
	Décapage chimique + S.W.P. 2 C	34

NOTES SUR LE COLLAGE

- Un parfait dégraissage est indispensable et sans doute c'est là un gros obstacle à la construction totale collée.
- Les surfaces à coller ne doivent pas être lisses mais légèrement dépolies.
- L'abrasif nécessaire pour dépolir l'acier aura un grain de 80 à 150. A moins que l'acier soit sablé...
- **Acier galvanisé** : poncer ou sabler très légèrement. Dégraisser avec de l'acide chlorhydrique pour 15 parties dans 85 parties d'eau. Rincer en abondance, sécher. Coller aussitôt après le dégraissage pour éviter la réoxydation du zinc.
- **Acier inoxydable** : poncer avec des abrasifs non métalliques ou faire un sablage fin.

Dégraisser avec :

- **1re solution :**

— métasilicate de sodium ..... 1,00 kg
— métaphosphate de sodium .. 0,50 kg
— soude caustique ..... 0,50 kg
— mouillant ..... 0,15 kg
— eau ..... 50 litres

- **2e solution :**

— acide oxalique ..... 14 kg
— acide sulfurique concentré .. 12,2 kg
— eau ..... 70 litres

Ce bain doit être chauffé à 85°. Rincer.

Le collage doit être fait juste après le dégraissage, le rinçage et le séchage.

- **Cupronickel** : poncer à la toile émeri, au sable fin ou à la grenaille de fonte blanche. Ou décaper avec une solution d'acide nitrique, chlorure ferrique et d'eau.

Rincer à l'eau froide puis à l'eau chaude, et sécher. Assembler aussitôt après le séchage.

- Fonte : sabler ou poncer à la toile émeri. Dégraisser jusqu'à ce que le chiffon reste propre. On peut ainsi concevoir le collage de pains de fonte pour fabriquer un lest de dériveur à fond plat. Les pains de fonte sont collés les uns aux autres ou à la structure du fond du bateau. En général, pour éviter les infiltrations d'eau entre les gueuses de fonte, on peut aussi emmailloter le tout dans du mat de verre imprégné de colle époxy.
- Plomb : poncer le plomb à la toile émeri puis dégraisser. Le chiffon doit rester propre. On peut ainsi fabriquer des lests en plomb en procédant comme je viens de le décrire ci-avant pour la fonte. Dans un bateau en aluminium, le plomb, plus encore que la fonte, doit être isolé du matériau de la coque. On emmaillote les pains de plomb dans un mat de verre résiné de colle époxy. Puis on colle les pains ainsi « *habillés* » les uns aux autres et à la structure peinte. Le tout sera de nouveau enveloppé d'un mat de verre (300 g/m²) imprégné de résine époxy.

COLLAGE ET COLLISION :

Des essais faits dans l'industrie automobile ont montré qu'une construction collée ne réagit pas comme une construction soudée ou boulonnée lors d'un choc avec un obstacle. Dans un ensemble

Photo E 18 « QUATRE ETAPES DU COLLAGE DE LA QUILLE DE SPANIELEK »



1 : *Dépolissage de la zone à coller, le haut de la quille.*



2 : *La zone à coller est enduite d'araldite.*



3 : *La quille est enfilée dans la coque. L'araldite est ébavurée.*

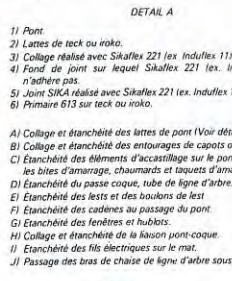


4 : *Immobilisation pour le séchage de l'araldite.*
(Photos Ciba-Geigy)

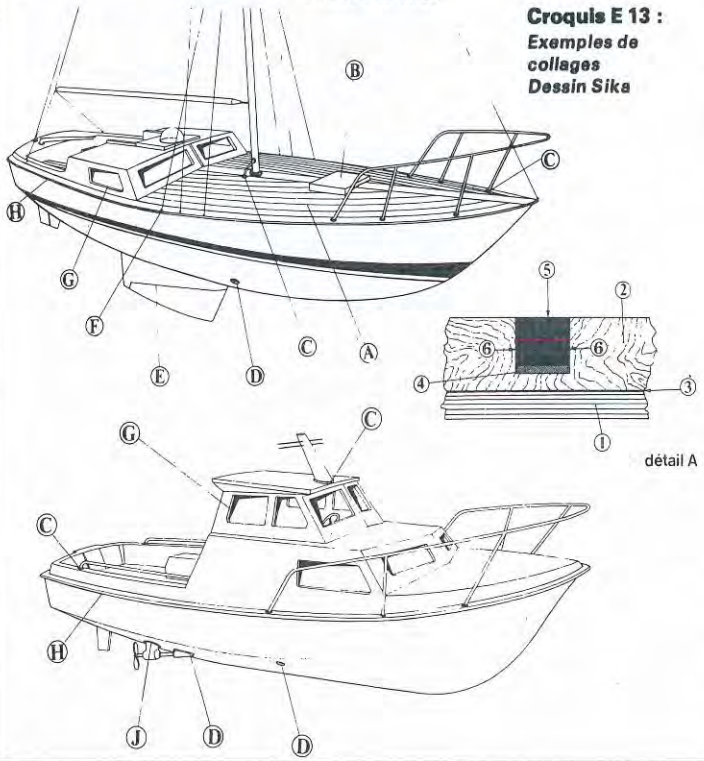
soudé, tout se passe comme si l'onde de choc mourait dans le métal. L'avant est écrasé sous l'impact par transformation de l'énergie cinétique. L'écrasement est de moins en moins important, en allant de l'avant vers l'arrière pour un choc qui a lieu en marche avant. Dans une construction collée, il semble que l'onde de choc est transmise par les joints collés. Les dégâts touchent les points faibles de la construction, de l'avant à l'arrière par effet de résonnance.

Ce qui ne laisse pas d'être inquiétant car l'atout d'un bateau en métal est justement d'absorber l'énergie. Par exemple, l'étrave s'écrase mais le reste est intact car l'énergie cinétique a été absorbée par l'avant. Tout ce qui est perpendiculaire et de plus en plus fortement en s'éloignant de l'axe neutre du bateau, sera soumis à une décélération énorme. La transformation de l'énergie sera quasiment identique par toutes les masses égales, quelle que soit leur position à l'avant ou à l'arrière. On songe aux dégâts du côté de la quille si elle est collée.

Il semble bien que cette technique soit très prometteuse pour de petites unités de promenade côtière en tôles d'acier inoxydable, galvanisé ou d'aluminium. Mais une patiente mise au point s'impose. Et entre le tout collé et le tout soudé, il y a place pour des étapes intermédiaires. *(Photo E 18 (1 à 4). Croquis E 13 et E 14).*



Croquis E 13 : ***Exemples de collages Dessin Sika***



10

LE NID D'ABEILLES D'ALUMINIUM ET LE SANDWICH METALLIQUE

LE NID D'ABEILLES

Un peu en marge de la construction métallique proprement dite, il m'a paru intéressant de signaler les panneaux de nid d'abeilles avec âme en aluminium.

Deux peaux de tissus de verre et résine époxy de 0,5 mm d'épaisseur sont séparées par un déployé d'aluminium. On trouve aussi des panneaux constitués de deux peaux d'aluminium AG2 de 0,5 mm d'épaisseur avec une âme en déployé d'aluminium, nid d'abeilles d'aluminium 3003.

Les premiers à peaux de polyester sont appelés *Aérolam F* et les seconds *Aérolam M*. Tous deux sont fabriqués par CIBA-GEIGY.

Tels quels ces matériaux ultra-légers entrent dans la fabrication de cloisons, planchers, voire ponts de bateaux pour peu que leur échantillonnage soit complété. Les panneaux *Aérolam M* ne peuvent guère être utilisés qu'à l'intérieur du bateau, l'AG2 ne supportant pas suffisamment bien la corrosion marine extérieure.

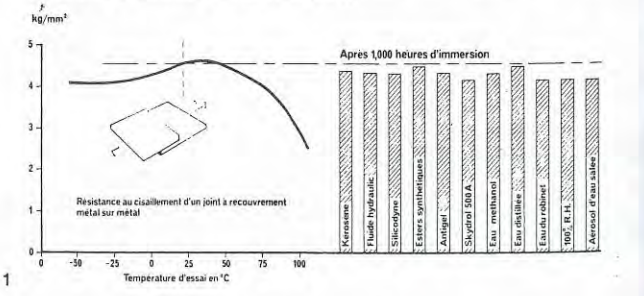
Description

Les Aérolam F-Board sont des panneaux composites de haute résistance,

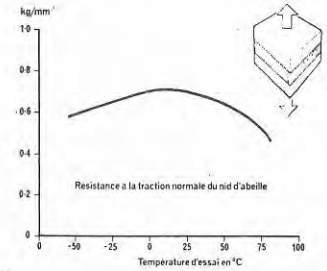
Croquis E 14 : ***Résistance des collages.***

Graphiques

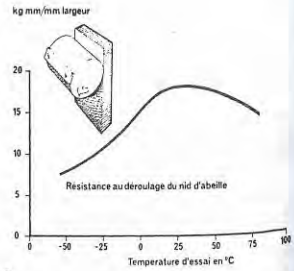
1. Résistance au cisaillement d'un joint à recouvrement métal sur métal : variation en fonction de la température ; effet de l'immersion prolongée dans différents liquides (Spécification D.T.D. 5577 du ministère britannique de la Technologie).
2. Résistance à la traction normale d'un collage métal sur nid d'abeille : variation en fonction de la température (Spécification militaire MIL–A–25463 (ASG) du département de la Défense des Etats-Unis).
3. Résistance au déroulage, mesurée au tambour grimpant, d'un collage métal sur nid d'abeille : variation en fonction de la température (MIL–A–25463 (ASG)).



1



2



3

destinés à la construction de structures rigides. Ils présentent à prix modéré, tous les avantages des sandwiches en nid d'abeilles (légèreté, rigidité, etc.).

Les panneaux F-Board sont constitués d'une âme en nid d'abeilles d'alliage d'aluminium Aéroweb, dont les deux faces sont revêtues par collage d'un stratifié de tissu de verre. On obtient de cette façon des panneaux plats rigides dont le poids est inférieur de plus des deux tiers à celui des contre-plaqués utilisés dans l'industrie.

Les panneaux Aérolam F-Board se coupent et s'usinent avec l'outillage d'atelier classique. La mise en œuvre fait appel aux techniques habituellement employées pour les stratifiés de tissu de verre. Ils peuvent être collés solidement au moyen d'adhésifs Araldite. Ils se caractérisent par une excellente stabilité dimensionnelle et, notamment par un très faible coefficient de dilatation dans le plan des couches du revêtement.

Pour les emplois à l'extérieur, le revêtement peut être protégé par un enduit Araldite ou par une couche de peinture rendant le panneau imperméable à l'humidité.

Lorsqu'elles sont exposées aux intempéries, les faces latérales des panneaux peuvent également être rendues étanches au moyen d'un mastic Araldite.

Applications

Les panneaux Aérolam F-Board sont largement utilisés par l'industrie pour la construction d'outillages de fabrication et de gabarits de contrôle caractérisés par leur légèreté.

Les photographies illustrant cette notice donnent plusieurs exemples de cette utilisation. Elles soulignent les avantages que présente l'association des nids d'abeilles Aéroweb métalliques avec les stratifiés en tissu de verre et démontrent la souplesse d'emploi de ce nouveau matériau composite, autorisant des formes compliquées. Les structures de ce type sont beaucoup plus légères que les outillages métalliques équivalents ; elles sont rigides et robustes et présentent une excellente stabilité dimensionnelle.

Les panneaux F-Board constituent un matériau idéal pour la construction de navires, d'aéroglisseurs, de caravanes, de voitures de chemin de fer, etc... (pontage intérieur, cloisons, panneaux de séparation et panneaux décoratifs). Ils conviennent également à la fabrication de mobilier léger, d'ensembles pour cuisines de bord, de consoles, de baies, de tiroirs et de boîtiers pour les équipements électroniques. Les seules limites à leurs possibilités d'emploi sont celles de l'imagination.

Résistance

Les valeurs ci-dessous ont été obtenues lors d'essais pratiqués sur des panneaux F-Board ayant une épaisseur standard de 25,4 mm (un pouce) ; elles constituent des valeurs-types pour les panneaux de toute épaisseur :

Résistance à la compression (normale au plan du tableau) 38,5 kg/cm²

Module d'élasticité en compression (normal au plan du panneau) 11.580 kg/cm²

Résistance à la traction du joint âme-revêtement (normale au plan du panneau) 16,15 kg/cm²

Coefficient de dilatation thermique (dans le plan du panneau) $1,4 \times 10^{-5}$/°C

N.B. : Toutes les valeurs indiquées ici sont des valeurs expérimentales moyennes et ne constituent nullement des valeurs minimales garanties.

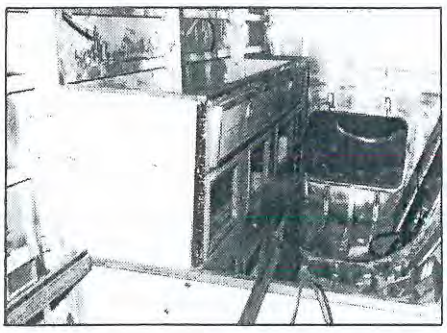
* Module d'élasticité : Les charges de compression ont été appliquées à une pile de dix éprouvettes.

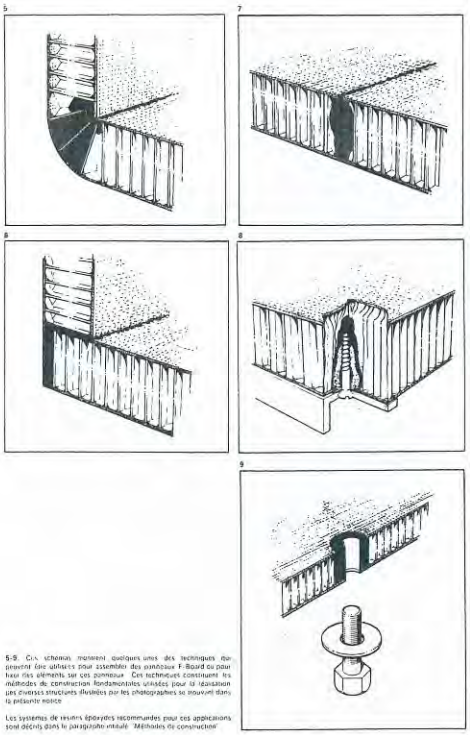
	Charge Rupture en kg	Observations
F-BOARD		
50	1670	Rupture des deux peaux, ou d'une seule, rupture située à l'une des deux extrémités de l'éprouvette.
25	1850	
12	1600	
CONTRE-PLAQUE		
22	3400	Le contre-plaqué plie avant de rompre (la charge maxi est enregistrée au début de ce pliage).
18	2200	
15	1630	
12	670	
9	370	

Photo E 20 : ***Aménagements en nid d'abeilles Aérolam sur « Elf-Aquitaine » (Photo Ciba-Geigy).***



Photo E 21 : ***Détail des aménagements d'Elf-Aquitaine (Photo Ciba-Geigy).***



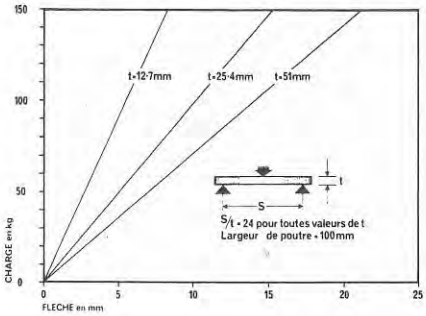


5-9. Ces schémas montrent quelques unes des techniques qui peuvent être utilisées pour assembler des panneaux F-Board ou pour fixer des éléments sur ces panneaux. Ces techniques constituent les méthodes de construction fondamentales utilisées pour la réalisation des diverses structures élevées sur les photographies se trouvant dans la présente notice

Les systèmes de résines époxydes recommandés pour ces applications sont décrits dans le paragraphe intitulé "Méthodes de construction"

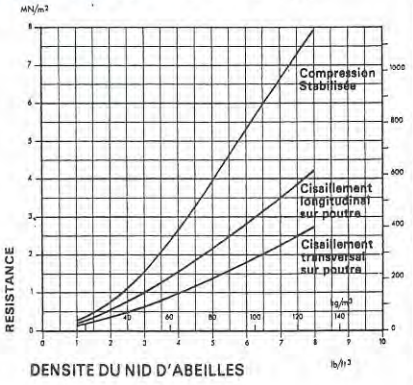
Croquis E 17 : ***(Dessins Ciba-Geigy)***

Croquis E 18 A : ***(Dessin Ciba-Geigy).***



5 : ***Graphique montrant la flexion produite par des charges appliquées à des poutres F. Board de différentes épaisseurs, reposant sur deux supports.***

Croquis E 18 B : ***(Dessin Ciba-Geigy)***



COMMENTAIRES SUR LA RESISTANCE A LA FLEXION COMPARAISON PANNEAUX F-BOARD/CONTRE-PLAQUE OKOUME

GAIN DE POIDS A RIGIDITE EQUIVALENTE

— Un panneau F-Board de 25 mm est équivalent à un contre-plaqué de 22 mm, le gain de poids est de 5 K/m².

— Un panneau F-Board de 12 mm est équivalent à un contre-plaqué de 15 mm, le gain de poids est de 4 K/m².

— Donc, dans les deux cas, le gain de poids est sensiblement égal à 50 %.

MODE DE RUPTURE

— Le contre-plaqué présente des dispersions dans les résultats importantes (bandes larges pour les contre-plaqués de 22-18-15 et 9 mm) suivant le sens dans lequel est testé le panneau.

Les résultats des panneaux F-Board sont très centrés (bandes étroites).

— Les ruptures du contre-plaqué sont également très diverses :

- cisaillement,
- délaminage,
- rupture du pli inférieur.

— Après essais, les éprouvettes sont très endommagées sur une grande partie de leur surface et à cœur.

Par contre, le panneau F-Board se rompt toujours de la même façon : rupture linéaire de la peau supérieure.

Après essais, l'éprouvette serait, à la limite, réparable par stratification de la peau supérieure.

QUALITES LIVRABLES

Les panneaux F-Board sont disponibles en trois épaisseurs standards :

12,7 mm (1/2 pouce), poids moyen, 3,08 kg/m²

25,4 mm (1 pouce), poids moyen, 4,21 kg/m²

51 mm (2 pouces), poids moyen, 7,54 kg/m².

La tolérance d'épaisseur peut varier de 5 % par rapport à l'épaisseur nominale.

Les panneaux ont pour dimensions standards : 2,44 m × 1,22 m (8 ft × 4 ft).

Les panneaux de 12,7 mm et de 25,4 mm d'épaisseur sont constitués dans l'exécution standard de deux couches de stratifié de tissu de verre sur chaque face ; et trois couches pour les panneaux de 51 mm d'épaisseur.

NOTA

Le déployé lui-même peut être mis en formes sur un gabarit à la façon d'une mousse de polychlorure de vinyle dans la construction en sandwich de polyester. Dans ce cas comme dans celui de la mousse, l'âme prend la forme du gabarit et est plastifiée. Cette technique qui demanderait une certaine réflexion et une mise au point semble tout à fait réalisable pour donner un bordé mixte polyester-âme en aluminium-polyester. Les précautions d'emploi semblent les mêmes qu'avec la mousse utilisée en âme de sandwich. Un pré-encollage des rives des déployés, à la résine araldite préparerait à mon avis à la stratification.

Le pont pourra être réalisé ainsi, plus facilement encore. De même des dérives et gouvernails. Des cales d'épaisseur devront remplacer l'âme en aluminium partout où un serrage par vis sera prévu, partout où la compression sera importante, comme sous le pied de mât par exemple. Les architectes intéressés trouveront conseil auprès de la société Ciba-Geigy.

METHODES DE CONSTRUCTION

Les panneaux F-Board peuvent être sciés, percés, fraisés de la même façon que les autres variétés de panneaux prêts à l'emploi, au moyen des mêmes outils à main ou à moteur. Les couches de revêtement et le noyau en nid d'abeilles se découpent aisément et peuvent être usinés sans difficulté avec toute la précision nécessaire.

Les techniques d'assemblage sont simples et font appel aux résines époxydes durcissant à froid (voir le Guide Pratique des Colles Araldite et Redux).

On peut voir que le bord tranché d'un panneau laisse apparaître le noyau en nid d'abeilles. Le nid d'abeilles doit être renforcé légèrement (d'environ 3 mm) par écrasement ou au moyen d'un outil tranchant, de façon à ménager assez d'espace à la pâte de résine Araldite, qui servira à l'assemblage ou au masticage. Si les efforts que le joint aura à supporter ne sont pas excessifs, on pourra se contenter d'un assemblage bout à bout, exécuté avec un adhésif Araldite. S'il est souhaitable de renforcer l'assemblage, on pourra recourir à un congé de raccordement exécuté au moyen de l'adhésif dans les angles intérieurs ou utiliser une ou deux couches de ruban de verre imprégné d'Araldite.

Le tissu de verre et le ruban de verre imprégnés d'Araldite adhèrent parfaitement aux couches de revêtement et au noyau en nid d'abeilles des panneaux F-Board. Ces matériaux sont fréquemment utilisés les uns avec les autres pour la construction de structures légères et robustes.

Lorsqu'il s'agit de fixer des éléments sur un panneau F-Board, on peut utiliser divers types d'inserts couramment commercialisés. Pour préparer la pose de l'insert, on commence par percer un trou de diamètre approprié dans une face du matériau, puis on y insère un outil avec une très faible inclinaison, pour détacher le nid d'abeilles de la couche de revêtement. On crée ainsi une cavité suffisante pour assurer un ancrage solide de l'attache. Si les charges doivent être élevées, il convient de les répartir sur une large surface du revêtement en y collant une pièce de renfort en métal ou en bois, ou en augmentant l'épaisseur du revêtement autour du point d'attache par adjonction de couches supplémentaires de stratifié de tissu de verre.

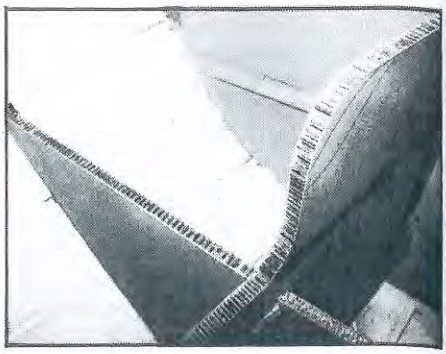


Photo E 23 : *« Aménagements en nid d'abeilles » (Photo Ciba-Geigy).*

POIDS DES PANNEAUX AEROLAM F ET M EN FONCTION DE LEUR EPAISSEUR

	F	M
DES-CRIP-TION	2 faces stratifiées : tissus de verre /résine epoxy épaisseur : 0,5 mm	2 faces : tôles d'aluminium AG2 épaisseur : 0,5 mm
	Ame nid d'abeilles aluminium 3003	
épaisseur des panneaux	Poids	Poids
12,5 mm 25 mm 50 mm	3,1 K/m 4,2 K/m 7,5 K/m	4,6 K/m 5,8 K/m 8,1 K/m
Dimensions	1220 × 2440 mm	

Les peaux sont les mêmes quelle que soit l'épaisseur de l'âme en nid d'abeilles.

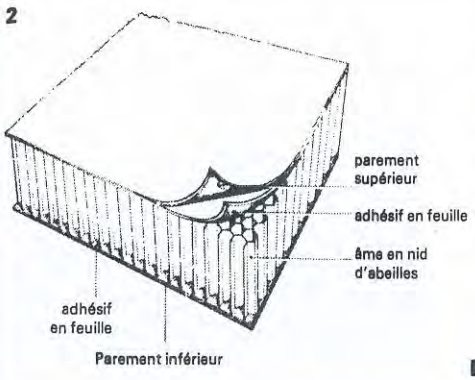
Ces matériaux intéressants utilisent des composants de la société Ciba-Geigy.

Nous avons calculé que le gain de poids réalisé par l'emploi de panneaux nid d'abeilles pour les planchers, cloisons, aménagements dans leur totalité, à la place de contre-plaqué, avait été de plus de 1.500 kg et près de 2.000 kg sur *Vagabond deux*.

Les aménagements en nid d'abeilles ont pesé à peine plus de 500 kg.

En contre-plaqué, en comptant les panneaux, les tasseaux, les vis, le poids eut été de plus de 2.000 kg. Sur le matériau brut le gain était de 1.500 kg.

D'autres bateaux de course ont utilisé



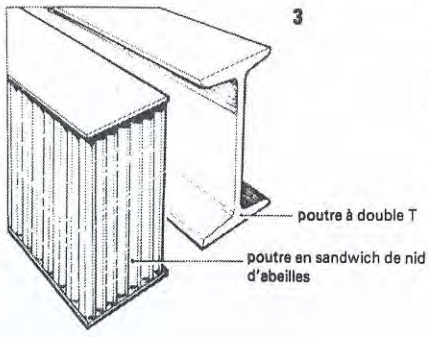
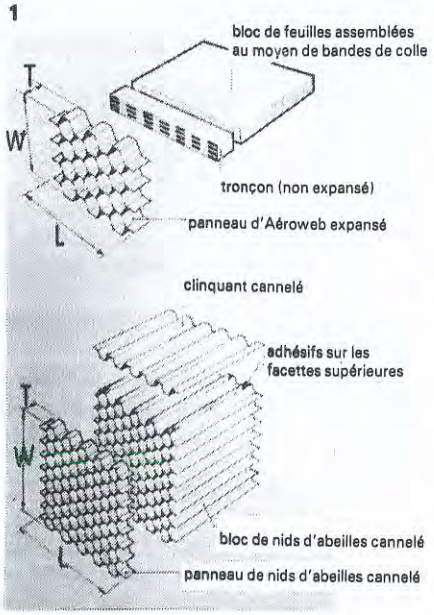


Photo E 25 1, 2, 3 : ***Fabrication et aspects du nid d'abeilles d'aluminium (Documents Ciba-Geigy).***



ces nids d'abeilles pour leurs aménagements dans le but de gagner du poids.

Mais on peut aussi signaler une autre idée, toute différente. Celle de la réalisation d'aménagements faits de surfaces courbes et déliées dans un *Méridien*. Le décorateur a su utiliser les possibilités de l'âme du sandwich apte à constituer de belles courbes et à présenter une fois le sandwich complet, des parois aussi rigides que légères.

Ces matériaux sont très employés dans l'aéronautique, planchers, pales d'hélicoptères, etc.

AUTRES SANDWICHES

Le nid d'abeilles est une technique de sandwich où une forme de métal, ici de l'aluminium déployé, joue le rôle de l'âme, les peaux étant en matériau synthétique.

On peut aussi rencontrer des formes inverses de sandwiches.

Il existe déjà des sandwiches de deux feuilles fines d'un métal dur ou très performant encadrant un métal plus dense mais plus tendre. On colle ainsi des parements d'inox sur une feuille d'aluminium.

Mais ce sont là des utilisations de peu d'analogie avec les techniques de construction navale, et qui font toutes appel aux collages.

Une autre technique utilise deux peaux d'inox ou d'aluminium de part et d'autre d'une âme en mousse synthétique ou en bois léger de type balsa.

Le plus souvent d'ailleurs, le bois est utilisé « *de fibres* », c'est-à-dire en long, ce qui est incompatible avec l'utilisation marine qui nécessite pour que les reprises d'eau restent localisées, l'emploi de bois tranchés utilisés « *debout* ».

Tels quels les sandwiches actuels sont trop fins. Les peaux sont insuffisamment résistantes car de l'ordre de 0,5 à 1 mm d'épaisseur chacune. Le moindre choc causerait des enfoncements et des déchirures. Par contre, il ne serait pas impossible d'utiliser de tels sandwiches pour réaliser des bateaux à bouchains ou en semi-formes, mais collés car il est bien évident qu'il n'est pas possible pour l'artisanat en lequel se trouve la construction navale de plaisance, de souder d'aussi fines épaisseurs !

Il faudrait interrompre le sandwich à chaque joint soudé ou collé et effectuer ce joint sur les deux peaux reliées l'une à l'autre et aux peaux du panneau suivant. On créerait ainsi des omégas. Pas impossible. Il faut déjà y réfléchir. Mais c'est pour plus tard ! La construction de petites unités telles que des dériveurs légers peut s'envisager sereinement. Ce serait alors en sandwich d'aluminium pour gagner du poids.

Une autre possibilité consisterait à construire un bateau en tôles soudées d'acier ou mieux d'inox ou d'aluminium, à deux parois fines. La structure serait limitée aux fonds.

Le bateau à bouchains ou en formes devrait être assemblé sur un mannequin. Il faudrait d'abord border la peau intérieure sur le gabarit mâle de type intérieur. Puis il conviendrait de placer des éléments de renforts qui maintiendraient l'espace entre les deux peaux de façon indéformable.

Ensuite, une mousse serait expansée entre les deux peaux. Une mousse étanche à l'eau et à la vapeur d'eau, car il sera difficile d'y aller voir ensuite !

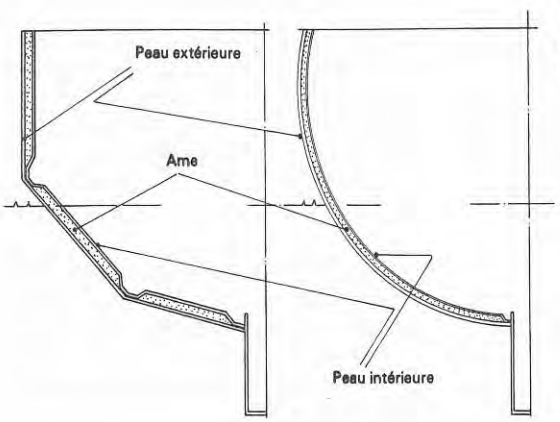
En cas d'abordage et de sinistre, il n'est pas impensable de réparer en réalisant un carré fait de deux peaux dans lequel on injecterait de la mousse, il faudra prévoir des mousses de l'ordre de 60 à 80 ou 90 kg par m3. J'en ai utilisé sur *Spanielek*. Ce bateau présentait d'ailleurs des similitudes avec le schéma décrit ci-avant, à savoir un bordé en sandwich de non tissé et de *Kevlar*.Une structure de fonds en sandwich, épais mais très peu dense de mousse PVC 40 kg/m3 avec peaux en verre en *Kevlar* ; des renforts d'étrave et d'arrière assurant l'insubmersibilité en mousse de 8 kg/m3. Enfin, la quille constituée de deux demi-saumons en plomb, plastifiés de verre pour l'isolation, collés à une tôle d'aluminium était elle-même collée à l'araldite, dans une sorte de puits réalisé dans les fonds du bateau.

Il semble que les différentes formes de sandwiches dont le principe est de réaliser une peau auto-porteuse de faible densité, à hautes caractéristiques de flexion, soit une option sérieuse pour l'avenir, à mettre au point avant son utilisation et sa diffusion.

La dernière solution décrite avec mousse injectée entre les peaux mises en formes devant être la plus commode et la plus vite mise au point.

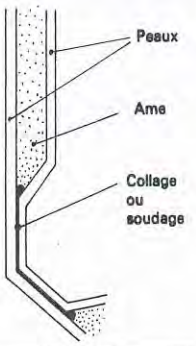
Les peaux, d'inox ou d'aluminium, voire de Cupronickel, pouvant être soudées ou rivetées. *(Photos E 20 à E 25 ; Croquis E 17 à E 20).*

Croquis E 19 : ***Bordés en sandwich.***



Croquis E 20 : ***Sandwich***

On pourrait concevoir deux peaux entre lesquelles on injecterait de la mousse. L'avenir de cette technique ne paraît pas devoir être proche.



11

PROFILEN, L'EXPERIENCE SUEDOISE

Il s'appelle « Profilen ». Il est suédois. C'est le premier bateau de grande taille construit en profilés collés !

PRESENTATION

« *Profilen* » est un trois-quarts tonner dont voici les caractéristiques :

longueur 9,83 m,

longueur à la flottaison 8,35 m,

déplacement 3.348 kg dont 1.000 kg de lest plomb,

surface de voilure 53 m² en polyester et en Mylar,

rating IOR 24,5 pieds,

winches Lewmar et... chauffage Wallas,

haubannage, gréement Seldens à Gothenbourg,

architecte Peter Norlin à Stockholm,

constructeur Anders Lowqvist et Sapa,

construit en 1981 à Vetlanda, Suède.

Coque en profilés d'aluminium

Alliage AA 6.063, état. T6

Poids 550 kg.

Pont en profilés d'aluminium

Alliage AA 6005, état T6.

Poids 150 kg

Quille de type caisson rempli de plomb (000 kg)

Poids du caisson 100 kg

Mât en aluminium extrudé

Section 138 × 95

Longueur 13,90 m au-dessus du pont

Poids 3,35 kg/m

Alliage AA 6005, état T6.

Les profilés d'aluminium sont fabriqués par la société *Sapa* (Skandinavian Aluminium Profiler AB) à Vetlanda.

Construit en 1981 à Vetlanda, « *Profilen* » a aussitôt participé à des régates où il s'est bien classé.

Pendant la trois-quarts Ton Cup à Helsinki, par un vent de 20 m/seconde et avec des vagues de 3 mètres de haut, la coque laissa entendre un fort bruit. L'équipage préfèra abandonner dans le dernier bord alors qu'il s'était classé 6e, 2e, 2e et 3e pour faire analyser les dommages par le constructeur.

Des profilés avaient été légèrement endommagés, mais aucun collage n'avait été abîmé. **« The glue holding the extrusions together held perfectly ».**

La société *Sapa* décida de réduire de 10 à 7 ou 8 cm la largeur des profilés produits par filage.

La *Sapa* expose à juste titre que « *Profilen* » était spécialement allégé pour la course alors qu'un bateau de croisière familiale peut se permettre un poids plus important et une structure plus dense. Les profilés de coque de « *Profilen* » mesuraient 10 cm de large pour 1,8 mm d'épaisseur. Les profilés de pont n'avaient qu'1 mm d'épaisseur.

La *Sapa* n'est pas un chantier naval. Leur rôle se « *limite* » à produire les profilés.

Jan-Evert Johansson de la Sapa, prêchant, bien sûr, pour sa paroisse, expose que la construction en polyester est en perte de vitesse, à cause du coût des moules et des investissements que cela suppose et des grandes contraintes des conditions de travail. Il ajoute que la construction en profilés allant de l'étrave à l'arrière est une bonne alternative d'avenir.

L'expérience de « *Profilen* » à permis de mettre au point les nouvelles formes de profilés qui simplifient le collage et permettent la construction de bateaux de différentes formes. La construction est rapide. Commencé au milieu de mars 81 « *Profilen* » fut mis à l'eau au milieu de juin 81, terminé, équipé et aménagé avec le chauffage ! Et le 26 juin, il participait à sa première régate. Il remportait sa première course le 5 juillet.

Construction de Profilen

Profilen est bâti avec 5 types de profilés collés.

La quille de type caisson est soudée à un fond chaudronné. Ceci est dû plus aux difficultés de construire cette zone à cause des lignes torturées qu'elle présente pour entrer dans la jauge IOR qu'à une nécessité liée aux profilés ou à l'impossibilité de les utiliser à cet endroit.

Les 5 types de profilés sont :

- un profilé de fond à double paroi,
- un profilé de renforcement et de liaison avec la structure porteuse,
- un profilé de haut de bordé,
- un profilé de liaison pont-coque,
- un profilé de pont.

La coque est portée par 9 couples en tôles découpées et en L. Les couples comprennent une varangue en tôle d'où partent les deux branches de la membrure raccordées en haut par le barrot. Une épontille relie le milieu de la varangue au milieu du barrot pour les couples de l'avant et de l'arrière. Les couples du milieu sont raidis par des tubes dans le prolongement du haubannage et qui portent les cadènes. On trouve en outre, un sérieux varangage au niveau de la quille, une solide carlingue centrale (fer de quille) et deux carlingues latérales plus modestes.

Le cockpit et les hiloires de roof, ainsi que le tableau arrière sont en tôle d'aluminium. Le raccordement aux profilés se fait par soudure pour le tableau et par collage sous une cornière en L rivetée pour les autres liaisons du pont avec le roof et le cockpit.

La construction a commencé par la fabrication d'un gabarit fait de faux couples en bois. Les profilés extrudés ont été bordés sur ces couples provisoires, du côté du livet de pont vers les fonds. Le bateau a été construit à l'envers, puis retourné. Les couples ont été extraits de la coque et remplacés par les renforts définitifs. Ces renforts sont collés dans la partie haute à des profilés de liaison triangulaires et soudés dans la partie basse. En haut, les 9 couples ne touchent pas le bordé et en sont écartés de 3 à 5 cm, alors qu'ils touchent le bas du bordé et en sont écartés de 3 à 5 cm, alors qu'ils touchent le bas du bordé pour y être soudés par points serrés : deux points par profilé de fond.

Les fonds sont peints à peu près à la flottaison.

Les profilés sont anodisés. L'épaisseur de l'anodisation est de 25 microns. Ceci est assez curieux. C'est très compatible avec le collage, mais peu avec le soudage, puis avec la nécessité de peindre les zones soudées.

La colle utilisée est une colle époxy AV 144 de Ciba-Geygy.

La résistance est seulement inférieure de 35 % par rapport aux spécifications de construction des avions de chasse supersoniques.

Nul doute que ce collage soit très résistant.

La tenue dans le temps est un autre problème et le moindre défaut d'alignement engendrant des vibrations pourrait mettre en danger la longévité des collages, bien que ceux-ci soient réalisés avec une colle semi-rigide.

Jusqu'à maintenant (fin 1982) sur un an d'utilisation intensive, il n'est apparu aucune trace de fissure dans les collages. La tenue à long terme avec immersion en eau de mer est en cours d'étude en laboratoire.

Le raccourcissement du temps de construction d'une telle unité est évalué à 40 %. Le bordage de pont n'a duré que deux jours !

Peter Norlin, qui était très sceptique, a été convaincu par la réalisation.

« En fait, je suis extrêmement impressionné par la façon dont le constructeur a réussi à résoudre les problèmes et de voir à quel point les solutions furent bonnes dans la pratique... De mon point de vue, ce montage peut être utilisé dans tous les cas de construction d'unités isolées »...

Le pont et les superstructures pèsent 4,5 kg/m² pour un poids total de pont de 150 kg. Le poids de la coque pontée avec le lest et les équipements de pont à l'intérieur du bateau était de 2.040 kg à la pesée faite lors du transport.

Un avantage de ce type de construction pour des prototypes de course est le parfait contrôle des poids dans leur masse et dans leur répartition. La coque est très rigide.

L'espacement entre les couples atteint 2 mètres. C'est sans doute trop, reconnaît

le constructeur, qui pense qu'ajouter un couple n'aurait guère pénalisé les poids et amélioré la rigidité.

Le gouvernail utilise les deux techniques du collage (tubes formant la mèche) et la soudure « *artificiellement maturée* » par frappe pour lui rendre ses caractéristiques optimales. La soudure recuit le métal. Lorsqu'on le frappe, on l'écrouit et lui redonne ses qualités d'avant le soudage. Les cordons peuvent alors être arasés par la frappe, par écrasement.

Le mât a été réalisé en tube filé d'un seul tenant par la Sapa : 16 mètres de bout en bout. Le mât a été peint (en « vert ») avant la fixation de l'équipement. Ce mât se révèla excellent et très performant.

Bien que les voiles n'aient pas grand rapport avec la construction métallique, je signale les deux génois de 31 m². Le lourd en Mylar de 3,7 oz. Le léger en Mylar de 2,4 oz.

L'expérience de cette construction collée et en profilés d'aluminium m'a paru assez intéressante pour être racontée ici dans ce chapitre, sur les techniques de demain. Tout semble y avoir été très réfléchi et choisi avec soin. Y compris le choix des alliages des profilés. L'alliage 6005 (A) est un A.GS appelé C 51 S par Alcan. L'alliage 6063 est un AGS appelé 6060 en France. Voyez le chapitre sur les alliages filés A.GS et A.SGM pour les mâts et autres profilés. La production de ce mât en A.GS est assez surprenante, mais la grande facilité avec laquelle cet alliage se file, a permis d'obtenir une paroi très homogène et une très grande longueur, là aussi très homogène. La relative « *faiblesse* » des performances étant largement compensée par l'homogénéité.

Une formidable Première Mondiale à suivre avec attention, car d'autres constructeurs, dont le chantier Brument et le chantier du Port, s'intéressent à la construction collée. Brument réalisant pour sa part une expérience avec des profilés à double accrochage ne pouvant se séparer en cas de défectuosité du collage. Cette méthode, comme celle de Profilen, étant brevetée. *(Photos E 27 à E 32).*

Photo E 27-1 : *« Profilen » lors de sa mise à l'eau.*

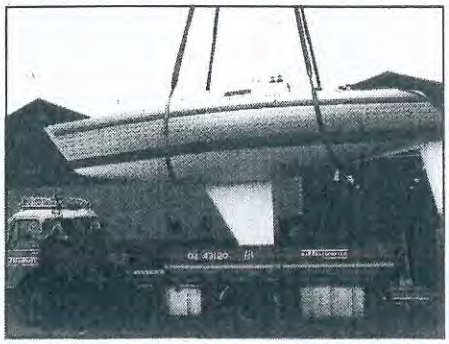


Photo E 28 : *La structure de l'avant du « Profilen » (photo Sapa).*



Photo E 29 : *La coque de « Profilen » et vue sur sa structure (Photo Sapa).*

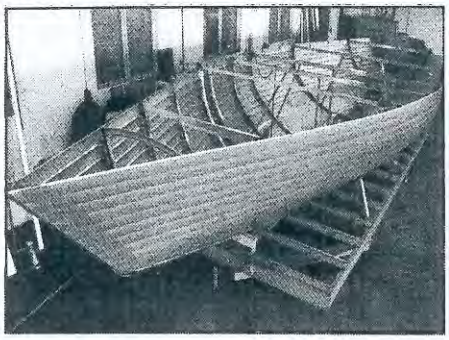


Photo E 30 : *La coque de « Profilen » (Photo Sapa).*

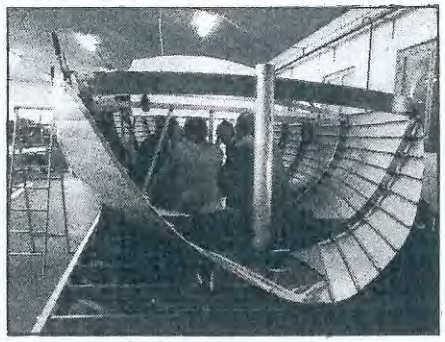


Photo E 31 : *Pose des premiers profilés sur un gabarit en bois (Photo Sapa).*

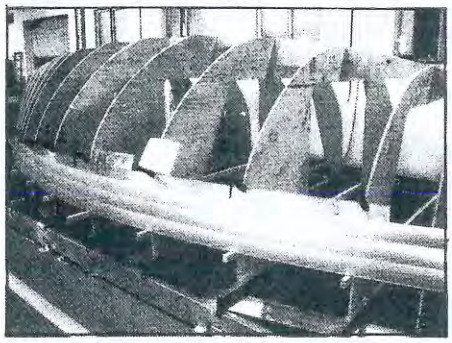
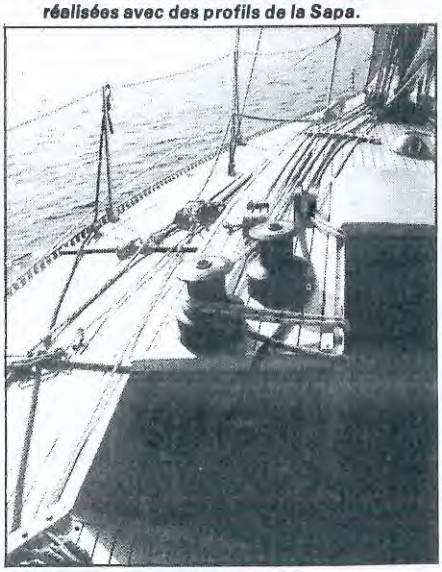


Photo E 32 : *Le pont. Notez les profilés en L qui font la liaison entre les tôles (hiloire de roof) et les zones réalisées avec des profils de la Sapa.*



12

BRISURES ARRONDIES

La beauté classique d'un bateau est par tradition, toute de rondeur et de lignes courbes. Mais de tous temps, les impératifs de l'économie ont poussé à construire des bateaux avec des panneaux développés. On trouve de tels canots dans tous les pays depuis des siècles. De même, pour faciliter la construction métallique, la rendre moins onéreuse et accessible à l'amateur, on dessine et construit des bateaux à bouchains vifs. Leurs qualités de navigation ne sont en rien gênées par ces formes anguleuses qui, au contraire, apportent de la raideur à la toile, au Près et assoient le bateau au Portant. Il n'y a là aucune matière à débat ou polémique.

Mais la peinture peut se râper vite, s'user et s'en aller sur une arête vive. Aussi, pour les angles du pont, peut-on pratiquer des arrondis. Certes, on peut placer un tube ou un demi-tube dans la brisure (angle des tôles). Mais voyez le chapitre sur la fabrication de brisures dans le manuel de construction amateur. Deux techniques sont employées pour supprimer ces angles vifs :

- les bananes,
- l'arrondi au tas

LES BANANES

Il s'agit là de couper les tôles des deux panneaux formant la brisure et de les raccorder par une gouttière chaudronnée dite « banane ». Cet arrondi peut alors être d'un grand rayon : 20 à 40 cm et le bateau paraît tout à fait être « *en formes* ». Bien entendu, on continue à voir les panneaux plans. Souvent, c'est la brisure supérieure d'un bateau à double bouchain qu'on traite ainsi, considérant que l'autre brisure est sous l'eau... et qu'on ne la voit pas !

C'est une technique de chaudronnier. Les tôles sont soit formées à la main, soit roulées avec une rouleuse à olives. La soudure est bout à bout et non plus en angle. Cette technique est plus complexe et moins courante que la suivante, qui est plus économique mais rapproche moins le bateau à bouchains « *vifs* » d'un bateau en formes.

BOUCHAINS ARRONDIS AU TAS

La préparation du bateau est identique à celle d'un bateau à double bouchain vif. Lors du tracé des transversales, on a reporté l'arrondi que va posséder le « *tas* ». Et on coupe l'angle des membru-

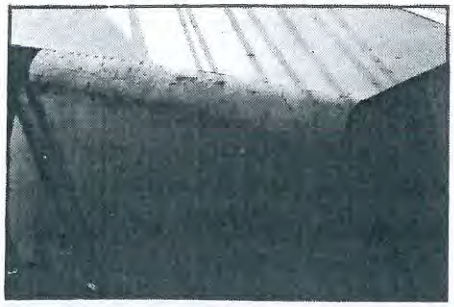


Photo E 33 : *Bouchain banané sur une construction en inox du chantier Brument.*

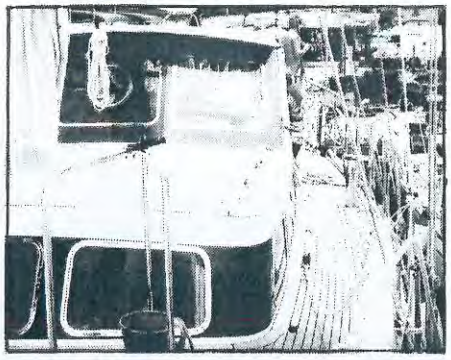
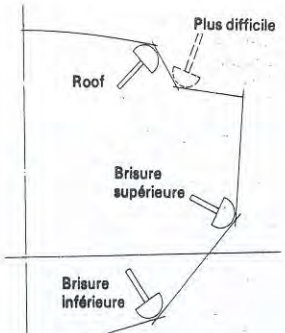


Photo E 35 : *Finition hollandaise sur ce roof. Construction Jongert.*



Croquis E 21 : *Angles que l'on peut souhaiter arrondir au tas.*

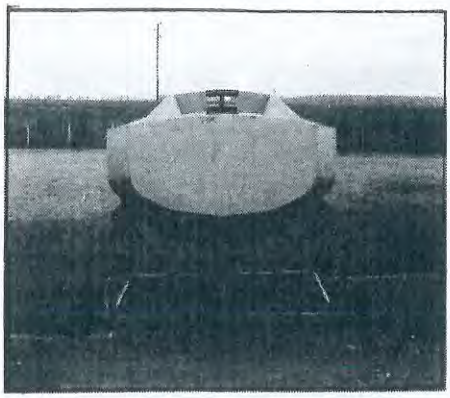
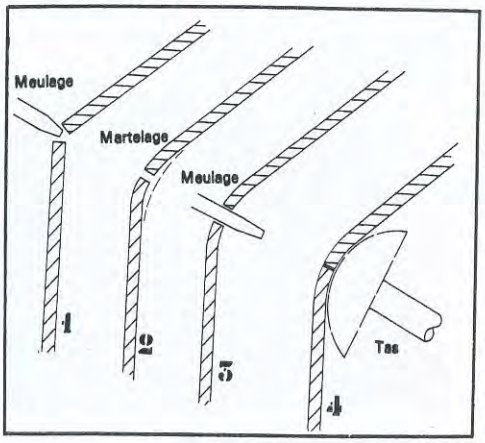
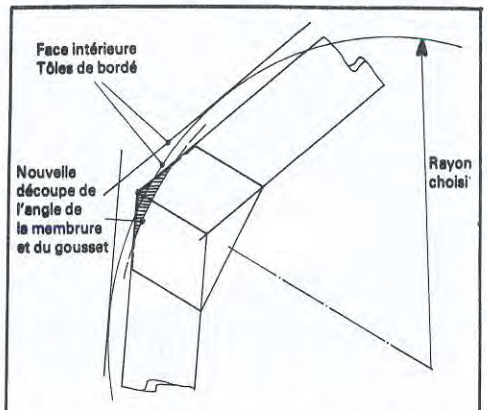


Photo E 34 : *Sur ce voilier, on voit bien la brisure supérieure « bananée », la brisure inférieure étant, elle, arrondie au tas.*



Croquis E 22 : *Etapes d'une brisure arrondie au tas.*

1. On découpe les tôles et on égalise les bords. Un espace d'au moins 5 mm est laissé entre les tôles.
2. On commence à marteler : les bords se rapprochent.
3. On rouvre l'espace entre les tôles.
4. On continue à marteler, on pointe, puis on soude.



Croquis E 23 : *Pour arrondir une brisure au tas, il peut être nécessaire de recouper membrures et goussets. Cela se détermine sur le tracé des transversales.*

res et des goussets, si nécessaire, pour que la structure reste à environ 1 cm des tôles. On ajoute un « *doigt* », en repère, qui indique l'angle de la brisure comme on le fait pour les goussets qui ne touchent pas les tôles. Voyez cette technique dans le chapitre sur les goussets et la fabrication des brisures. Les tôles peuvent être découpées plus vite, avec moins de soin, et « *plus court* » que si la brisure était laissée vive. On regagne ainsi le temps « perdu » par l'emploi du tas. Les tôles doivent être distantes de 0,5 à 1 cm l'une de l'autre. Une personne applique dans l'angle des tôles, par l'intérieur du bateau, une masse d'acier à la surface arrondie selon un diamètre déterminé. Ce diamètre sera de 15 à 25 cm. Les angles de la « *table* » arrondie, par assimilation à un marteau, seront cassés pour ne pas marquer l'acier. De l'autre côté, à l'extérieur du bateau, un second opérateur frappe le métal avec un marteau de chaudronnier. Les tôles sont plaquées sur le tas, se rapprochent l'une de l'autre. Le métal est allongé. Au fur et à mesure du travail, il peut être nécessaire de rouvrir l'espace entre les tôles. On se sert d'une meule équipée d'un disque à tronçonner étroit. L'espace ménagé entre les tôles, pour le soudage sera conforme aux règles du soudage.

L'avantage de cette formule, outre que l'esthétique s'en trouve améliorée et l'entretien facilité, est qu'on peut rectifier par les coups de marteau, d'éventuelles « *hésitations* » de la courbure de la brisure. La soudure, elle, peut ne pas être une courbe parfaite. Une fois meulée, et c'est indispensable de la faire pour l'entretien ultérieur, elle s'inscrit dans l'arrondi de la brisure et est invisible.

Je conseille vivement aux constructeurs, artisans et amateurs, d'évaluer l'intérêt qu'ils ont à adopter une de ces techniques compte tenu de ce qu'ils recherchent au sein de la fourchette de compromis prix-esthétique. Ce travail supplémentaire pouvant dans un chantier bien organisé être compensé par l'absence de nécessité d'un ajustage parfait des tôles, le prix de revient ne sera pas alors augmenté et le prix de vente, lui, reste un compromis à établir entre la capacité du produit à être vendu à tel ou tel tarif et les nécessités de bénéfice de l'entreprise.

On parle souvent d'arrondir les brisures de la coque, je considère que ce travail est tout aussi intéressant, et pour les mêmes raisons d'entretien, pour les angles du roof. Quant à l'esthétique, là aussi, elle trouve son terrain d'application.

Je considère que cette technique pourra être une nouvelle étape de la construction amateur vers une qualité sans cesse plus irréprochable.

Cette technique est difficile à appliquer à l'inox à cause de la dureté de surface du métal et de sa tendance à s'affaisser. Elle est valable pour l'acier doux et les alliages d'aluminium, et le reste pour les aciers inoxydables. Certains chantiers l'appliquent à des bateaux acier, inox et alliage léger.

Elle ne peut que se développer chez nous, comme elle s'est généralisée en Hollande. (*Photos E 33 à E 35 ; Croquis E 21 à E 23*).

13

LA CONSTRUCTION EN PANNEAUX GALBES

Entre la construction en formes où les tôles du bordé sont chaudronnées pour épouser un tracer arbitraire qui les contraint au-delà de leur courbure naturelle, et la construction à bouchains vifs où au contraire, on reste tout près du développement naturel du métal, il existe des variantes.

Enumérons :

- le bordé à panneaux développables où l'on ne contraint pas du tout les tôles au-delà de leur développement ;
- le bordé à panneaux semi-développables où l'on passe le métal au-

delà du développement naturel vers la limite élastique des tôles mais sans dépasser ni atteindre cette limite qui alors passe en déformation plastique permanente. Une tôle poussée au-delà conserve une déformation définitive, permanente, dite plastique.

- le bordé à panneaux galbés où l'on pousse le métal au-delà de sa courbure naturelle sans dépasser sa limite élastique. Mais ici la déformation est opérée dans le sens longitudinal et transversal.
- le bordé en formes dont je parlais plus haut.

Dans tous les cas, le développement du bordé est de type cylindrique, les courbes génératrices longitudinales (livet, brisures et bord des fonds plats) sont parallèles, ou gauches lorsqu'il n'y a pas de parallélisme ni normalité. Entre les deux, on peut avoir des développements cõniques. Lorsqu'on met une tôle en place sur un développement non cylindrique, elle se met *« en formes »* c'est-à-dire qu'elle *« gonfle »*. **Les coupes perpendiculaires à l'axe longitudinal du bateau présentent des courbes non régulières et non constantes qui dépendent :**

- du type de développement,
- du vrillage léger ou important,
- de l'épaisseur,
- du matériau, acier ou alliage d'aluminium,
- du nerf de la tôle et des contraintes de laminage dont elle va se libérer en se mettant en formes.

Depuis les années 80, quelques chantiers proposent des coques en *« bordés galbés »* ou *« semi-formés »*.

L'acier supporte beaucoup mieux que l'inox et surtout que l'aluminium, le développement au-delà de la courbe naturelle. L'aluminium étant en épaisseurs supérieures *« vient »* avec plus de difficultés et pour compenser les contraintes longitudinales, gonfle beaucoup plus que l'acier. Une forme réalisable en aluminium le sera toujours en acier. Une forme limite pour l'acier ne viendra souvent pas en aluminium.

PROCÉDÉ

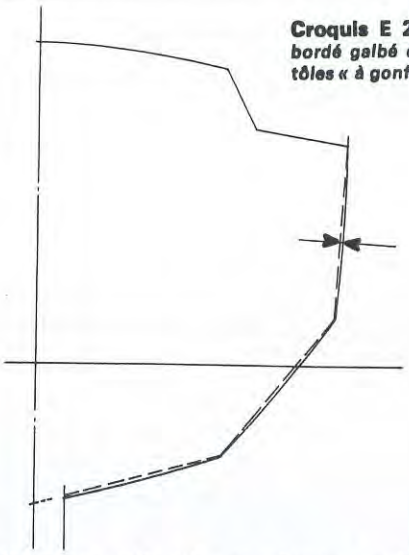
Il n'est ici pas question de chaudronnage c'est-à-dire de formage du métal.

Pour faire un bordé galbé, il suffit d'amener les tôles longitudinalement et transversalement sur une structure présentant du rond dans ces deux directions.

J'ai lu un texte publicitaire disant que les courbes de la structure d'un bateau avaient été *« dessinées par ordinateur »*. A moins d'avoir intégré dans la machine la variablé correspondant au nerf de chaque tôle, je ne vois pas ce que l'ordinateur a à faire en la demeure.

Décidément, moins les gens ont de science et plus ils éprouvent le besoin d'en parler.

Par ordinateur ou autrement, on peut



Croquis E 24 : ***La fabrication d'un bateau à bordé galbé exploite la tendance naturelle des tôles « à gonfler ».***

déterminer, suite à la connaissance expérimentale du travail des métaux, le galbe que les tôles pourront admettre dans l'alliage, la nuance et l'épaisseur choisis. Ce galbe n'a aucune obligation à être constant mais peut l'être pour une raison d'économie dans le formage de la structure.

Si le bateau est construit sur sa structure, il faudra :

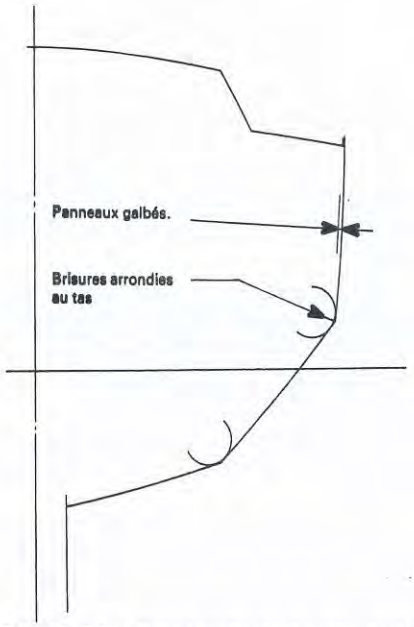
- que les membrures soient galbées à l'arrondi choisi pour une structure sur membrures ou mixte ;
- que les lisses reposent sur des membrures galbées si elles n'y sont pas encastrées avec une possibilité de réglage ;
- que les lisses aient une possibilité de réglage de leur encastrement pour autoriser l'utilisation de membrures à tronçons droits, ce qui est un gros atout de facilité, de rapidité et d'économie d'utilisation.

Si le bateau est construit sur gabarit les membrures du gabarit gagneront à être galbées. Le bateau a son bordé tendu sur les lisses posées sur les membrures du gabarit. Ensuite, les vraies membrures du bateau sont mises en place après le retournement de la coque. Ces membrures peuvent avoir des tronçons courbes sans encastrement ou droits avec un encastrement modulé des lisses.

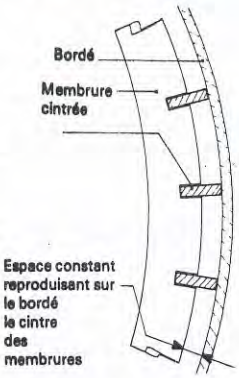
Pour ma part, je commence à conseiller aux amateurs, l'essai de construction sur membrures à tronçons droits et lisses à encastrement modulé et réglable. C'est à la portée d'un amateur un tant soit peu averti ou bien conseillé et guidé par son architecte. Ce n'est pas tout à fait à la portée de tous en acier. Ce n'est sûrement pas à la portée de tous en aluminium à cause du comportement différent des tôles lors du cintrage, lors du soudage et à cause de l'utilisation de profilés en L ou T qui ne permettent pas des encastrements réglables très commodes.

Mais avec les progrès des techniques, c'est une belle perspective d'avenir.

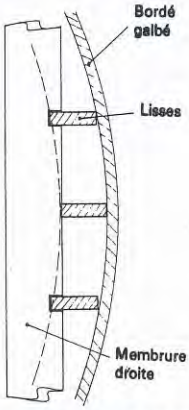
Cette perspective d'avenir rend les bateaux plus esthétiques et augmente l'inertie du bordé donc sa solidité. En cela, elle méritait d'être étudiée dans les techniques *« modernes »*. *(Croquis E 24 à E 28).*



Croquis E 25 : ***Outre le galbe des bordés, des brisures arrondies au tas confèrent à la carène une jolie douceur de lignes et facilitent l'entretien de la peinture.***



Croquis E 26 : ***Bordé galbé sur membrures cintrées.***



Croquis E 28 : ***Panneaux galbés sur membrures droites.***

Après la première génération de bordés galbés sur membrures cintrées, je mets au point une technique qui permet vraiment aux amateurs de galber un bordé sur des membrures droites ! Cette méthode est issue de celle mise au point par M. Brument pour ses Vulcain.

14

ALUMINIUM FRAISE OU EXTRUDE

Au chapitre sur les structures, vous avez vu qu'il en existe de divers types. On se souviendra des grandes familles principales, à savoir les structures transversales (membrures), les structures longitudinales (lisses) et mixtes par l'association des deux.

Au chapitre sur les options de structures pour l'avenir, vous aurez retrouvé les grandes généralités :

- tôles fines et structure dense dont font partie les familles citées plus haut,
- tôles épaisses avec le moins possible de structure. C'est le cas de la construction *Strongall*.

On y ajoutera les structures de type *Bergstrom* sur poutrelles en tubes et tôles fines. Adjoignez-y le procédé collé de *Profilen*, et c'est complet.

Pas tout à fait, car il existe une formule courante en aéronautique et encore peu répandue en construction navale, car elle réclame un outillage spécifique et est fort consommatrice de matière.

C'est la construction « *fraisée* ou *extrudée* ».

On peut, pour le moment, réaliser des tôles recevant ensuite un faible galbe, mais pas encore de tôles pouvant être chaudronnées en formes.

Le principe est de relier structure et bordé, non par assemblage soudé, collé ou riveté, mais en les travaillant dans une même épaisseur de métal.

En effet, lorsqu'on raidit une tôle par effet de poutre en lui ajoutant des profilés, la liaison de ces derniers à la première reste hétérogène, s'il s'agit de collage ou de rivets, et transforme les caractéristiques du métal s'il s'agit de soudage.

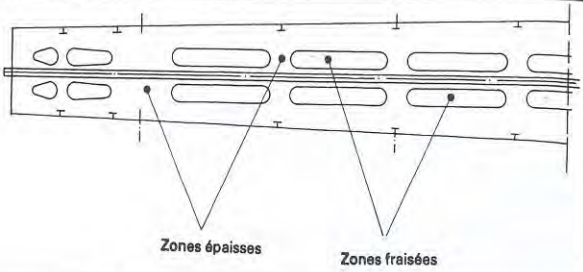
La perte de caractéristiques mécaniques allant selon l'effort et l'alliage concernés, de 15 à 40 %.

Une parfaite homogénéité du métal et un minimum de transformation par le « *traitement thermique* » non désiré qu'est le soudage, permet un gain de poids considérable.

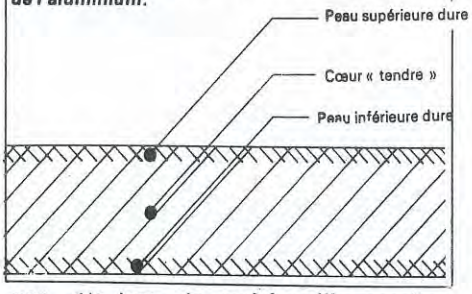
Mais cette technique encore coûteuse et rare, a limité son application à de rares bateaux de course. Citons, à titre d'exemple, la fabrication en tôles fraisées pour le trimaran à foils d'*Eric Tabarly*, *Paul Ricard*, de la poutre transversale d'origine, des flotteurs d'origine et des foils.

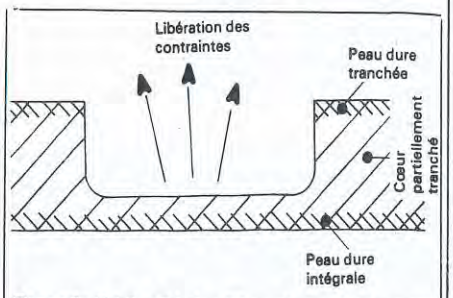
On appelle aussi ce type de procédé « structure intégrale ». Il permet d'aligner l'ensemble des résistances sur la résistance du point le plus faible. En effet, lorsqu'on a diverses pièces assemblées, la solidité de l'ensemble est égale à celle de la pièce la plus fragile. Il ne sert à

Croquis E 31 : *Exemple de pièce fraisée, poutre bras de liaison des flotteurs (d'origine), sur le « Paul Ricard » d'Eric Tabarly.*



Croquis E 29 : *Effet de peaux lors du laminage de l'aluminium.*





Croquis E 30 : *Déséquilibre d'une tôle épaisse fraisée non préparée dans ce but.*

rien, dès lors, de suréchantillonner les autres ! le bon système est de correctement échantillonner les points critiques et d'aligner le reste. En structure intégrale, la méthode de calcul est plus précise que par tout autre procédé, car n'entrent en jeu que la géométrie et les caractéristiques du métal sans paramètre d'assemblage toujours sujet aux fluctuations de la mise en œuvre.

La tôle épaisse est découpée au format de la pièce, puis son épaisseur est rongée à la fraise pour laisser un dessin caissonné avec l'épaisseur faible au centre et les épaisseurs fortes là où le besoin existe.

Pour la poutre transversale de *Paul Ricard*, l'épaisseur minimum était de 2,5 mm et l'épaisseur maximum de 15 mm.

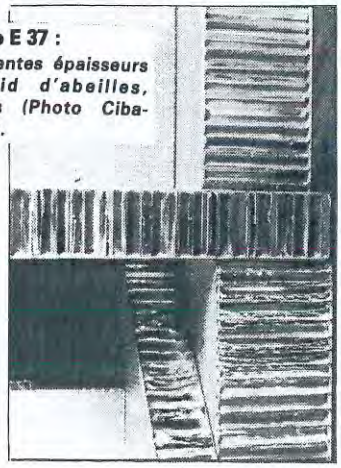
Toutefois, il y a une précaution fondamentale à prendre !

Lors du laminage, la tôle a vu son épaisseur réduite, ses fibres étirées dans le sens de sa longueur. C'est le corroyage, doublé de l'écrouissage.

Des traitements thermiques calment le métal et lui ôtent de sa dureté.

Mais les deux faces du métal sont restées plus dures que le cœur. Aussi, lorsqu'on fraise une tôle épaisse, on ôte la peau durcie d'un seul côté. Libérant des contraintes internes, on déséquilibre le métal qui se voile. Et il est ensuite difficile de le ramener bien droit par des chau-

Photo E 37 : *Différentes épaisseurs de nid d'abeilles, chants (Photo Ciba-Geigy).*



des de retrait. On appelle cela « *l'effet de peau* ».

La technique consiste à détendre d'abord la tôle par un traitement thermique calmant, avant de l'ouvrir. Les contraintes étant éliminées (ou compensées), le métal peut être travaillé. Il faut veiller à le chauffer le moins possible.

Déjà appliquée sur *Paul Ricard* et de rares autres unités, cette technique d'une grande homogénéité est courante si on considère que biseauter une tôle épaisse s'en rapproche ! La quille de Spanielek, ensuite collée à l'araldite sous la coque en *Kévlar*, avait ainsi été mise en formes. Elle est encore fort rare en terme exact de structure intégrale telle qu'elle se pratique en aéronautique. De ce fait, elle reste coûteuse.

Chantiers, à vous la parole, car il est hors de question que cette méthode concerne l'artisan ou l'amateur à cause de l'investissement en outillage qu'elle implique ! *(Photo E 37. Croquis E 29 à E 31).*

15

L'ALUMINIUM EXPANSE

En dernière minute, il a été impossible d'obtenir des renseignements techniques fiables sur cette nouvelle technologie que Cégedur est en train de mettre au point et conserve dans le plus absolu secret.

Il s'agirait d'une nouvelle méthode d'élaboration d'alliages d'aluminium très performants, notamment sur le plan des efforts fléchissants.

Il ne faut pas confondre cette future technique de l'aluminium expansé avec les sandwiches d'aluminium dont on ne voit pas bien comment on les utiliserait dans nos bateaux, autrement qu'en les collant, ni avec l'aluminium extrudé qui

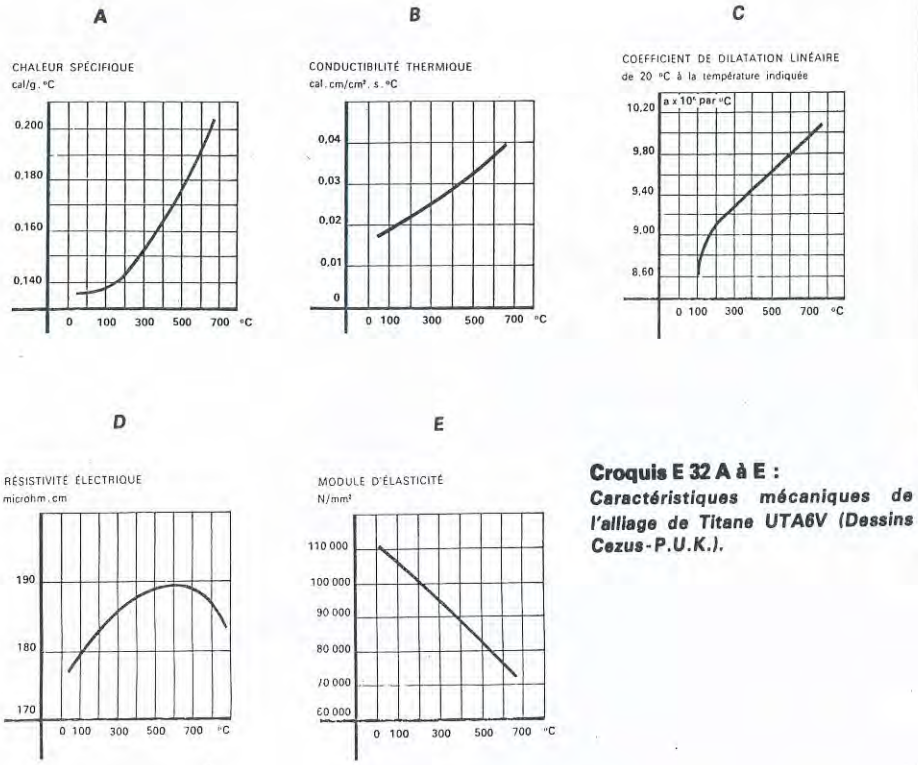
est le creusement, à la fraise, de tôles épaisses, technique décrite dans un autre chapitre.

Cette nouvelle technologie verra sans doute le jour dans le courant des années 80 et trouvera d'abord une utilisation dans les domaines de la construction Spatiale et Aéronautique avant de descendre dans les années 1990 dans l'industrie et, peut-être, la plaisance.

Rendez-vous aux années 90 !...



Photo E 38 : ***Les panneaux de nid d'abeilles d'aluminium aéroweb ont servi à construire des aménagements de « Méridien », chantier Pouvreau, décorateur Ménochet (Photo Ciba-Geigy).***



Croquis E 32 A à E : ***Caractéristiques mécaniques de l'alliage de Titane UTA6V (Dessins Cezus-P.U.K.).***

16

LE TITANE

On dit *« l'acier »* comme on dit *« l'aluminium »* ou *« l'inox »*.

En fait, on devrait toujours parler des alliages d'acier, d'aluminium. Pour le moins, on devrait dire les aciers, les aluminiums, les aciers inoxydables.

De même, on devrait parler des alliages de titane et non « du titane » qui reste une abréviation bien commode dont je vais user ici. Il faudra avoir présent à l'esprit qu'on ne parle pas alors du corps simple, mais de ses alliages composés.

DESCRIPTION

Le titane est un corps simple, métal. Il est de couleur noire et ses propriétés le rapprochent du silicium et de l'étain. On le trouve dans de nombreuses roches argiles, minerais de fer, à l'état d'oxydes tels que rutile, anatase de titanate ou silicotitanate (sphène). On le trouve aussi combiné au fer à l'état de fer titané.

On fabrique le titane en réduisant l'anhydrite titanique (TiO2) par le carbone, dans un four électrique.

Le titane est un métal très dur, qui raye l'acier. Sa densité est 4,5. Son poids atomique est 48.

Le titane entre dans de nombreux composés où il est souvent quadrivalent. On trouve ainsi des sulfures, chlorures, fluorures et oxydes. Il entre dans la composition des aluminiums et des aciers spéciaux.

Diverses autres applications du titane. Ainsi, pendant la Seconde Guerre mondiale, le chlorure de titane a été utilisé comme gaz fumigène. **On utilise le titane en peinture :** blanc de titane, où il remplace le plomb. L'oxyde de titane sert de charge dans la fabrication des papiers et matières plastiques, dans le blanchiment des savons, etc.

GENERALITES

Fabriqués par le groupe industriel Péchiney-Ugine-Kuhlmann, les alliages de titane sont transformés et diffusés en France par la société CEZUS qui en est une filiale. Créé en 1972, le groupe P.U.K. est un holding spécialisé dans l'exploitation des aciers. Une branche a été créée qui s'appelle *« Aciers et Titanes »*. Elle est spécialisée dans la conception des aciers spéciaux ainsi que du titane, du zirconium, du tentale et du magnésium.

En France, on dénombre 13 alliages de titane qui se différencient par leur composition chimique qui leur confère des caractéristiques différentes.

Les alliages de titane se composent de carbone C, hydrogène H_2, oxygène O_2, fer Fe, titane Ti, parfois cuivre, aluminium, palladium, molybdène, zirconium, silicium, vanadium, etc.

L'alliage de titane utilisé en construction navale est l'UTA6V dont voici l'étude.

ETUDE DE L'ALLIAGE UTA6V

U désigne la marque Ugine.
T désigne l'élément titane.
A6 est le pourcentage d'aluminium = 6 %
V pour le vanadium.

Comme d'habitude, les éléments composants sont désignés par leur symbole abrégé et classés par ordre décroissant de teneur. Le pourcentage de l'élément principal d'addition étant seul indiqué.

Composition chimique

Al	=	5,5 à 6,75 %
V	=	3,5 à 4,5 %
C	=	inférieur ou égal à 0,08 %
N^2	=	inférieur ou égal à 0,07 %
H^2	=	inférieur ou égal à 0,015 %
O^2	=	inférieur ou égal à 0,20 %
Fe	=	inférieur ou égal à 0,30 %

Et du titane pour le reste de la balance.

PROPRIETES PHYSIQUES

Poids spécifique g/cm3 : 4,43 ; point de fusion °C : 1.650 ; chaleur spécifique à 20°C cal/g. °C : 0,13 ; conductibilité thermique à 20°C cal. cm/cm². s. °C : 0,016 ; coefficient moyen de dilatation linéaire 20°C à 100°C : 8,6 × 10^{-6}°C ; résistivité électrique à 20°C microhm.cm 175 ; amagnétique ; module d'élasticité à 20°C N/mm² 111.000 ; module de torsion N/mm² : 43.000.

Forgeage

Point de transformation : 1.000°C ± 15°C.

Température de dégrossissage : 1.050°C - 1.100°C.

Température de finition : 850°C - 950°C.

Traitements thermiques

Recuit

Cet alliage, bien que susceptible de durcissement, est le plus souvent utilisé à l'état recuit. Température 700 à 730°C - maintien 1 h à 2 h, suivant les dimensions des pièces - refroidissement air.

Trempe

L'alliage UTA6V est faiblement trempant et la trempe à cœur est limitée au rond de Ø ⩽ 40 mm - température 840°C-950°C - maintien 10 à 30 minutes.

De plus, cet alliage exige une trempe rapide et énergique. Le temps de transfert entre le four et le milieu trempant doit être aussi faible que possible et le milieu de trempe doit avoir un grand pouvoir refroidissant - eau avec agitation.

Après trempe eau à 850°C, l'alliage présente une plus faible limite élastique et, par conséquent, un domaine plastique (charge de rupture — limite élastique) plus étendu, de l'ordre de 200 N/mm² sur un rond de Ø 10 mm.

Vieillissement

Il est obtenu par maintien de 4 h environ à température comprise entre 450°C et 540°C (suivant la température de trempe) suivi d'un refroidissement air. La charge de rupture est alors comprise entre 1.080 et 1.250 N/mm², soit un gain de caractéristiques à l'ambiante et, par rapport à l'état recuit, de l'ordre de 180 à 120 N/mm².

Deux traitements spéciaux peuvent être appliqués :

- « recuit chaud » : température 930°C-940°C : durée ⩾ 1 h - refroidissement air soufflé : ce traitement est utilisé pour améliorer la ténacité des produits de forte section.
- trempe eau + recuit.

Mise en solution à 940°C-980°C - durée ⩾ 1 h.

Refroidissement eau.

Revenu à 730°C : durée ⩾ 1 h - refroidissement air : ce traitement est utilisé pour améliorer la tenue à la fatigue et la ténacité des produits de forte section.

Caractéristiques mécaniques

- Caractéristiques de traction

UTA6V recuit	Barres : pièces forgées S ⩽ 5.000 m² Fil	Barres : pièces forgées 5.000 < S ⩽ 10.000 mm² Barres destinées à la forge S ⩾ 5.000 mm² (a)	Tôles, bandes, plaques Tôles et bandes e ⩽ 5 mm	Plaques 5 < e ⩽ 100 mm
R N/mm² (kgf/mm²)	900 (92)	900 (92)	910 (93)	890 (91)
Ro,2 N/mm² (kgf/mm²)	830 (85)	830 (85)	840 (86)	820 (84)
A % sur $5{,}65\sqrt{S}$	10	8	0,2 < e < 0,6 : ó 0,6 ⩽ e ⩽ 1,6 : 8 1,6 ⩽ e ⩽ 5 : 10	8
Z % (striction)	25	20		
Sensibilité à l'entaille (b) N/mm² (kgf/mm²)		1.160 : durée ⩾ 5 h (118)		
Pliage $\frac{r}{e}$ à 105°			e < 2 : 4,5 2 ⩽ e ⩽ 5 : 5	

UTA6V traité :
Barres et pièces forgées :

	e ⩽ 25 mm	25 < e ⩽ 50 mm
R N/mm² (kgf/mm²)	1.100 (112)	1.040 (106)
Ro,2 N/mm² (kgf/mm²)	1.040 (106)	970 (99)
A % sur $5{,}65\sqrt{S}$	8	8
Z % (striction)	20	20
Sensibilité à l'entaille (a) N/mm² (kgf/mm²)	1.270 durée ⩾ 5 h (130)	(b)

(a) recommandation AICMA n°1301.
(b) contrainte et durée définies par accord avec client.

- Limite de fatigue : la limite de fatigue en flexion rotative à 10^8 cycles est supérieure à 0,5 R.
- Propagation des criques : le facteur K_{IC} est toujours supérieur, même à l'état trempé revenu, à 64 MPa $\sqrt{m}$.

Fluage

σ 0,1 %/100 h (N/mm²)		σ 0,2 %/100 h (N/mm²)			σ R. 100 h (N/mm²)	
400°C	500°C	300°C	400°C	500°C	400°C	500°C
260	50	600	380	90	600	320
		σ 0,2 %/300 h (N/mm²)			σ R.300 h (N/mm²)	
		300°C	400°C	500°C	300°C	400°C	500°C
		550	320	70	700	550	260

CARACTERISTIQUES MECANIQUES AUX BASSES TEMPERATURES

Il est conseillé pour les applications aux basses températures d'utiliser la nuance UTA6V-L (L : qualité cryogénique) qui conserve de bonnes caractéristiques jusqu'à — 196°C.

Cette nuance diffère de la nuance normale par les teneurs en fer (⩽ 0,25 %) et en oxygène (⩽ 0,13 %).

Les caractéristiques garanties sont les suivantes :

	R N/mm² (kgf/mm²)	Ro,2 N/mm² (kgf/mm²)	A %
20°C	880 (90)	820 (84)	8
— 196°C	1.490 (152)	1.380 (141)	13,5

Etats de livraison
barres
pièces forgées
tôles

MISE EN OEUVRE DU TITANE

Fabrication

Les alliages de titane sont fabriqués par le groupe Péchiney-Ugine-Kuhlmann qui utilise les mêmes installations que pour la fabrication des aciers spéciaux, notamment en ce qui concerne les transformations à chaud et à froid.

Dans son usine de Savoie, Ugine élabore des lingots, les transforme à chaud et à froid en produits longs, barres et fils. Les tôles sont fabriquées aux Forges de Gueugnon.

Ugine Aciers assure la commercialisation des produits.

La fabrication se fait avec des électrodes produites dans des presses à compacter. Il existe maintenant des électrodes non consommables.

Le premier four européen, celui d'Ugine, assure un compactage classique de niveau industriel, la mise de départ « *électrode* » qui ensuite est refondue dans des fours à électrodes consommables. Ces fours, au nombre de trois, comportent deux foyers capables de produire des lingots de 15 tonnes. Les méthodes sont proches de celles de la production de l'acier.

Le titane est ensuite traité dans un four à recuit, sous vide, où sont fabriqués les produits longs et les tôles.

Forgeage

Pour cette transformation à chaud, le titane est chauffé dans des fours électriques, à l'air. On n'y laisse le métal qu'un temps minimum. Les outils de forgeage doivent être très puissants pour limiter le nombre des chaudes. Si elles sont en acier, il faut préchauffer les matrices à 500°. On peut utiliser les outillages en fontes spéciales ou en céramique (Glass Rock).

La puissance nécessaire pour les outils de forgeage est due à certaines **caractéristiques du titane :**

- mauvaise conductibilité thermique ;
- pouvoir émissif élevé ;
- danger de contamination par des gaz et la vapeur d'eau ;
- faible déformabilité à chaud pour la phase.

Après transformation à chaud, on opère un recuit de détente et le décapage entre les phases n'est pas utile.

Conformation à froid

La nuance UTA6V n'admet pas très facilement la conformation à froid.

Valeur du coefficient d'écrouissage.

n = 0,10

Pour l'acier inoxydable 18.10, cette valeur de n est de 0,40 ; elle est de 0,25 pour l'aluminium.

Le titane peut être plié à 180° avec un rayon minimal de quatre fois l'épaisseur pour l'état recuit et cinq fois l'épaisseur pour l'état traité, peu utilisé.

Le titane est très flexible. Pour compenser son effet de ressort, il faut plier de 10 à 15° au-delà de l'angle désiré.

Le titane, en cours de travail à froid, doit être très lubrifié car il grippe facilement.

Il faut soigneusement éviter de rayer la surface, ce qui est une amorce de rupture.

Pour l'estampage, on utilise les mêmes outils que pour les aciers inoxydables. On travaille à vitesse lente.

Décapage

Une pièce qui a été chauffée à plus de 600°C présente une surface oxydée. Il faut la décaper. Il existe des décapages à la soude ou au bain nitrofluorhydrique. On peut aussi sabler le titane.

Usinage

L'usinage des alliages de titane est maintenant courant. Notons les particularités suivantes :

- la faible conductivité thermique produit un fort échauffement de l'outil qui doit être arrosé ;
- on utilise des outils au carbure ;
- le module d'élasticité est faible ; les pièces usinées peuvent vibrer ; elles doivent être bien bridées ;
- les copeaux sont très chauds, risques d'incendie par projection ;
- les outils sont vite abrasés, soit par l'oxyde du titane, soit par la dureté du métal ;
- les temps d'usinage sont un peu supérieurs à ceux de l'acier ;
- on pratiquera une vitesse de coupe modérée ;
- les machines sont puissantes ;
- le refroidissement et la lubrification par des huiles soufrées seront abondants ;
- on utilise des outils en acier rapide, stellite ou carbure.

Soudage

Sous réserve de prendre les précautions nécessaires, la soudabilité du titane est excellente.

Une phase fragilisante peut apparaître dans le cordon et le métal voisin du cordon.

L'alliage UTA6V est soudable. La phase fragilisante ne peut pratiquement pas apparaître.

Caractéristiques de traction sur tôles soudées d'UTA6V, épaisseur 4 mm, procédé TiG

	Métal d'apport	R N/mm²	A %	2 %
Tôle soudée recuite		1.000	12,5	29
Tôle soudée, cordon non arasé	titane	1,026	10	28
	UTA6V	1.020	8,6	26

Ceci sans traitement de recuit.

Procédés de soudage

Le procédé TIG s'applique aux faibles épaisseurs de tôles.

- Buse aussi grosse que possible, 25 mm recommandé ;
- éviter les courants d'air ;
- arc court et électrode de tungstène aussi peu sortie que possible de la torche ;
- soudage sous argon U, ou hélium ;
- circuit de gaz sec, étanche et purgé ;
- protection de la zone chauffée pendant le refroidissement jusqu'à 400° par un « *traînard* » pour assurer une nappe non turbulente sur le bain et la zone chauffée ; un aide avance le traînard derrière le soudeur qui opère ;
- protection envers, prévoir une alimentation d'argon indépendante ;
- refroidir la zone chauffée par des plaques de cuivre distantes de 25 mm du cordon ;
- maintenir une protection d'argon après la coupure de l'arc ; on consomme 7 à 10 litres d'argon à la minute pour la torche, 10 à 25 litres pour le traînard et 2 à 4 litres pour la protection envers ;
- on peut souder, dans ces conditions, 2 mètres à l'heure en une passe.

Le procédé MiG est possible en respectant les conditions ci-dessus. Le traînard doit être plus abondant et plus long, car l'échauffement est plus important.

On peut souder le titane :

- en TiG sous « *boîte à gants* », la pièce et la torche étant dans un caisson empli d'argon, l'opérateur travaillant à travers des « *gants* » ;
- par bombardement électronique ;
- par résistance ;
- le brasage est très délicat, mais possible ; on a construit ainsi des cadres de cycles.

Qualité des soudures

Les deux défauts les plus courants sont :

- les soufflures, dont la cause est encore mal expliquée ; on accepte des soufflures qui n'excèdent pas un quart de l'épaisseur des tôles ;
- la contamination par défaut de protection gazeuse ; la soudure doit être blanche, à la limite jaune clair ; un cordon bleu est suspect ; des dépôts blancs pulvérulents condamnent le joint.

On vérifie les soudures par les moyens habituels et des tests de pliage parallèlement ou perpendiculairement au cordon.

Avant le soudage :

L'oxycoupage est dangereux. Les pièces assemblées doivent avoir été coupées par cisaillage ou sciage. Il faut dégraisser les bords à assembler. Les bords doivent être très nets, sans bavures. Les bavures emprisonnent de l'air. Les précautions

sont analogues à celles des aciers inoxydables avec un niveau de soin plus élevé.

Une soudure défectueuse doit être rouverte par meulage et refaite.

Traitements de surface :

- il faut prévoir de polir la surface du titane ;
- on peut l'anodiser ;
- il est inutile de le peindre.

Avant l'anodisation, le métal doit être décapé et poli. Le titane n'est pas sensible à la corrosion de l'eau de mer.

Utilisation :

Par ses caractéristiques mécaniques très élevées, sa densité faible, le titane est un alliage de choix pour la fabrication de pièces de petite taille très sollicitées et, récemment, de pièces assemblées de plus grande taille qui se trouvent être très légères.

On peut aussi rappeler l'utilisation marine du titane dans la fabrication :

- de cadènes ;
- de mousquetons ;
- manilles et manillons ;
- ridoirs ;
- mèches de gouvernails.

Comme le titane grippe facilement, les pièces vissées sont rilsanisées.

Eric Tabarly utilise le titane sur ses bateaux depuis la construction de *Pen Duick VI*. Pour ce bateau, le titane a servi à construire les biellettes de commande de la mèche de gouvernail ainsi que des pièces de gréement.

Pour *Paul Ricard*, le foiler de *Tabarly*, on a fabriqué en titane des cardans de ridoirs légers et très solides. La solidité devant être le souci majeur, plus que le gain de poids, réel mais mineur eu égard aux 7 tonnes du bateau !

A noter la construction en 1982 de la totalité du gouvernail du trimaran de *Florence Arthaud, Biotherm*.

Le matériau est inerte en eau de mer, permet un gain de 50 % de poids par rapport aux aciers inoxydables. Il coûte dix fois plus cher que les aciers inoxydables nobles.

Un matériau très performant pour les bateaux de course, grâce à l'allègement qu'il autorise, et pour les bateaux de long voyage par ses qualités de résistance.

Je remercie les sociétés *Carlier, Cezus* et *Ugine Aciers*, grâce auxquelles ce texte a pu être élaboré.

PROPRIETES PHYSIQUES

	Ti	Inox 18-10	Fe	Al	Mg	Cu	Ta	Nb	Be
Numéro atomique	22		26	13	12	29	73	41	4
Poids atomique	47,90		65,85	26,97	24,32	63,57	180.95	92,91	9,01
Densité g/cm3	4,50	7,93	7,86	2,70	1,74	8,94	16,6	8,6	1,85
Point de fusion °C	1.670	1.420	1.535	658	650	1.085	2.996	2.470	1.290
Pt d'ébullition °C	3.535		3.235	1.800	1.100	2.300	5.430	4.930	2.700
Chaleur spécifique cal/g °C	0,125	0,12	0,109	0,211	0,245	0,093	0,035	0,065	0,50
Chaleur de fusion kcal/mol.	5		3,6	2,5	1,4	3,1	7,6	6,4	2,3
Conductibilité thermique cal.cm/cm².s.°C	0,04	0,039	0,17	0,50	0,35	0,92	0,13	0,13	0,38
Coefficient de dilatation à 25°C (par °C × 10^{-6})	8,5		11,7	22,9	25,2	16,5	6,2	7	11,7
Résistivité à 20°C ($\mu\Omega$.cm)	47.8	72	10	2,7	4,6	1,7	12,4	16	3
Susceptibilité magnétique (10^{-6}) n.cm/g	+3,2		Ferro-magnétique	0,65	0,55	—0,09	0,85	2,28	—1,0
Module d'élasticité (N/mm²)	11.000	19.400	20.400	7.100	4.700	12.750	18.900	11.400	30.000
Section de capture vis-à-vis des neutrons thermiques barn/atome	5,6		2,43	0,215	0,059	3,59	21,3	1,1	0,009
Température de transformation allotropique °C	882								

Caractéristiques mécaniques obtenues sur tôles soudées en UTA6V (épaisseur 4 mm - soudage TIG)

	Métal d'apport	Traitement après soudage	Caractéristiques de traction R N/mm²	A %	Z %
Tôles non soudées recuites			1.000	12,5	29
Tôles soudées	Titane	Néant	1.026	10	28
		2 h à 820°C	1.014	8,1	21,5
		2 h à 650°C	1.040	8,9	23,7
Cordon non arasé	UTA6V	Néant	1.020	8,6	26
		2 h à 820°C	1.025	7,4	20
		2 h à 650°C	1.043	7,7	25,6

DIVERS EMPLOIS DU TITANE

Propriétés pilotes	Applications
Résistance spécifique élevée à froid et à chaud	Aérospatiale Marine Energie atomique Armement Automobile et sports
Résistance à la corrosion	Industrie du chlore Océanologie et applications dérivées Industries chimique et alimentaire Galvanoplastie
Amagnétisme	Géophysique Connexions électriques
Résistance à l'érosion	Centrifugeuses
Faible coefficient de dilatation	Liaisons sur céramique et verre en électronique
Immunité biologique	Prothèses osseuse et dentaire
Haute résistivité électrique	Coupleurs magnétiques
Faible module d'élasticité	Plaques amortisseuses d'hélicoptères

GEOMETRIE DES OUTILS

Opérations	Angles (degrés)	Aciers rapides	Carbures Brasés	Carbures A jeter
Tournage	Pente d'affûtage λ	0	0	—5
	Dépouille ∝	5	5	5
Fraisage plan	Pente d'affûtage axiale	0	0	5/7
	radiale	0	—10	5/7
	Dépouille	12	12	12
	Dépouille circonférentielle	12	12	12
Perçage	Angle de pointe	118		
	Angle de lèvres	7/10		
	Angle d'hélice	24/32		

Les valeurs indiquées s'entendent pour l'usinage avec lubrification abondante.

Pour tous les produits bruts de transformation à chaud ou de traitement thermique, il est vivement recommandé de procéder, soit à un grenaillage, soit à un meulage, ou mieux à un décapage complet avant usinage pour éliminer la couche d'oxyde et la zone contaminée sous-jacente, dures et abrasives.

- Tournage-perçage : consulter les tableaux.
- Fraisage : il est conseillé de travailler en « avalant ».
- Rectification : sur pièces propres à l'emploi, doit être pratiquée avec prudence car elle peut diminuer les propriétés de fatigue du matériau. Les meules type « carborandum » sont celles qui affectent le moins cette diminution de caractéristiques ; elles sont préférables, pour cette raison, aux meules « alumine ». *(Croquis E 32).*

CONDITIONS DE COUPES RECOMMANDEES

						ACIERS RAPIDES		STELLITES		CARBURES			
OPÉRATION	ALLIAGE	DURETÉ BRINELL	ÉTAT	PROF. COUPE mm	Vc m/mn	AVANCE mm/tour	OUTIL-TYPE nomenclature AISI	Vc m/mn	AVANCE mm/tour	BRASÉS Vc m/mn	A JETER Vc m/mn	AVANCE mm/tour	OUTIL-TYPE nomenclature AISI
TOURNAGE	UT 40 - UT 60	140/200	Recuit	3,8/0,6	50/55	0,4/0,2	M3,T15	55/60	0,2/0,1	110/120	130/145	0,4/0,2	C2/C3
	UTA 6 V	310/350	Recuit	3,8/0,6	18/21	0,4/0,2	M3, T15	21/24	0,2/0,1	45/50	55/65	0,4/0,2	C2/C3
	UTA 6 V	350/400	Traité	3,8/0,6	16/20	0,4/0,2	M3, T15	18/21	0,2/0,1	36/44	48/56	0,4/0,2	C2/C3
						par dent							
FRAISAGE PLAN	UT 40 - UT 60	140/200	Recuit	3,8/0,6	30/40	0,15/0,1	M2, M7	–	–	90/120	100/130	0,15/0,1	C2
	UTA 6 V	310/350	Recuit	3,8/0,6	12/15	0,15/0,1	T15, M33	–	–	40/52	44/56	0,15/01	C2
	UTA 6 V	350/400	Traité	3,8/0,6	10/14	0,15/0,1	T15, M33	–	–	33/44	36/48	0,15/0,1	C2

				PAS (mm)				VITESSE DE COUPE (mn)				AVANCE (mm/mn)				ACIER RAPIDE
				Diamètre ou épaisseur (mm)				Diamètre ou épaisseur (mm)				Diamètre ou épaisseur (mm)				TYPE
SCIAGE SCIE CIRCULAIRE				6 à 75	75 à 150	150 à 230	230 à 380	6 à 75	75 à 150	150 à 230	230 à 380	6 à 75	75 à 150	150 à 230	230 à 380	nomenclature AISI
	UT 40 - UT 60	140/200	Recuit	5/16	15/24	23/29	28/40	49	40	30	25	250	200	150	75	M2 - M7
	UTA 6 V	310/350	Recuit	5/16	15/24	23/29	28/40	17	14	11	7,5	80	50	45	30	M2 - M7
	UTA 6 V	350/400	Traité	5/16	15/24	23/29	28/40	17	14	12	9	80	63	45	30	M2 - M7

INDICATIONS DE MISE EN OEUVRE

				PAS EN DENTS/25 mm épaisseur mini (mm)			VITESSE coups/minute	AVANCE mm par coup
				⩽ 6	6/19	19/50	⩾ 50		
SCIAGE Scie alternative (acier rapide)	UT40 - UT60	140/200	Recuit	10	6	6	4	150	0,2
	UTA 6 V	310/350	Recuit	10	6	6	4	60	0,15
	UTA 6 V	350/400	Traité	10	6	6	4	30	0,08

				AVANCE (mm/tour) DIAMÈTRE DU TROU (mm)							ACIER RAPIDE TYPE nomenclature américaine	VITESSE DE COUPE m/mn
				3,2	6,4	13	15	25	31	51		
PERÇAGE	UT 40 - UT 60	140/200	Recuit	0,02	0,07	0,15	0,18	0,20	0,25	0,33	M10 - M7 - M1	18/24
	UTA 6 V	310/350	Recuit	0,05	0,12	0,15	0,18	0,20	0,23	0,25	M10 - M7 - M1	9
	UTA 6 V	350/400	Traité	0,02	0,05	0,10	0,12	0,15	0,18	0,20	T15 - M33	7,5

				VITESSE MEULE m/mn	VITESSE TABLE m/mn	AVANCE VERTICALE mm/passe	AVANCE LATÉRALE mm/passe	TYPE DE MEULE
RECTIF.	UT40 - UT60	110/275	Recuit	900/1800	12	dégrossissage 0,025 / finition ⩽ 0,01	largeur meule / 10	carbure / silicium
PLANE	alliages	250/280	Recuit ou trempé	450/750	12	0,025 / ⩽ 0,01	largeur meule / 10	alumine
		250/380	Recuit ou trempé	900/1800	12	0,025 / ⩽ 0,01	largeur meule / 10	carbure / silicium
		350/440	Traité	900/1800	12	0,025 / ⩽ 0,01	largeur meule / 10	alumine

17

LE CUPRONICKEL

Si la base de cet ouvrage repose sur les alliages d'aluminium et les aciers doux et inoxydables, il est intéressant de noter quelques considérations sur le Cupronickel. Ces données peuvent servir de base à une réflexion personnelle de chacun, sur cet intéressant matériau. Peut-être est-ce l'atout maître des métaux en matière de construction navale, avec un seul défaut, son prix !

Les alliages de cuivre spéciaux sont assez peu connus. Cependant, ils sont la plus ancienne des métallurgies, celle des BRONZES. Dans l'ensemble, leurs caractères sont une excellente résistance à la corrosion, un amagnétisme total, un bon comportement aux ragages, une excellente tenue aux chocs et mâtages, une bonne usinabilité.

Parmi ces alliages que proposent diverses maisons comme « *Le Bronze Industriel* », « V.D.M. », etc., on note l'Electral cuivre faiblement allié ; le Cupralinox cuivre-aluminium résistant à la corrosion ; le Zédabronze ; l'Elbébronze ; le Cuprosil au silicium ; les Bronzes, alliages de cuivre et d'étain ; le Nickralex, cuivre-nickel aluminium à haute limite élastique. Et les Navinox, nom de la marque Bronze Industriel donné à l'alliage de cuivre, étain, nickel avec addition de fer et manganèse, destiné à la construction navale, car très résistant à la corrosion et à l'érosion marines. Ces alliages dits cupronickels sont en constant développement dans la grande construction navale pétrolière.

FABRICATION

En début de fabrication, les éléments constitutifs de l'alliage sont réunis après avoir été contrôlés dans une « charge ».

Cette charge est amenée à la fusion, puis coulée.

Il existe trois méthodes de coulée :

- en lingotière,
- en continu,
- par centrifugation.

On obtient ainsi des lingots, des billettes et des ébauches qui sont ensuite transformés en demi-produits.

Différentes opérations de métallurgie donnent aux ébauches, billettes et lingots, les formes et les caractéristiques mécaniques voulues. Nous avons vu pour l'acier et l'aluminium que ces opérations sont dites de corroyage. Elles recristallisent l'alliage. On obtient une cristallisation fine et un fibrage. Au nombre de ces méthodes de corroyage, on note le forgeage (déformation plastique à chaud) ; le laminage circulaire (transformation à chaud qui permet d'obtenir par un corroyage des produits de forme annulaire) ; le matriçage (un lopin de métal est transformé à chaud entre deux matrices portant l'empreinte de la pièce à obtenir) ; le filage (un lopin de métal est filé à chaud dans une filière, afin d'obtenir des barres rondes ou polygonales) ; l'étirage, écrouissage à froid du métal par réduction de sa section. Outre ces traitements, il existe des traitements thermiques modifiant les qualités mécaniques d'un alliage.

Caractéristiques

Nous n'étudions ci-après que le Cupronickel. Les autres alliages sont :

- les cupro-aluminiums,
- les cupro-aluminiums au nickel (bronze d'aluminium),
- les laitons spéciaux,
- les cupro-siliciums complexes,
- les cupro-chrome-zirconium,
- les cupro-cobalt-béryllium,
- les cupro-étains avec ou sans plomb,
- les cupro-étains soudables (Navibronze),
- les cupronickels.

COMPOSITION NOMINALE

en %
Reste = Cuivre

Nom de l'alliage	Ni	Sn	Fe	Mn	P	TI
Navinic 10	10	—	1,5	0,7	—	—
Navibronze	0,4	8	—	—	0,10	—
Cunifer 10	10	—	1,5	0,7	—	—
Cunifer 30	30	—	0,7	1	—	—
Cunifer S 9010	10	—	1	0,5	—	0,4
Cunifer S 7030	30	—	0,9	0,9	—	0,4
Cunifer E 7030	30	—	0,9	0,9	—	0,4

- Densité 8,8 à 8,9

La densité de l'acier est 7,8

La densité des alliages d'aluminium est 2,7.

- Module d'élasticité : 11.200 à 12.600.
- Dilatation, 20 à 200° C × 10 — 6 = 17.
- Conductibilité thermique 0,12.
- Résistivité à 20° C micron Ω/cm²/cm = 15 à 19.

PROPRIETES MECANIQUES :

R N/mm² : 300 à 400.
E 0,2 N/mm² : 100 à 180.
A % 5,65 V S : 35 à 60 %
Hb 10 D2 : 70 à 80.
HVS : 70 à 80.

NORMES :

Navinic 10 : NFA 51 102, Iso 429, Din 1785, ASTM C 70600.

Cunifer 10 : Din 17664, ASTM B 122, BI71.

Cunifer 30 : Din 17664, ASTMC B 248. B 402.

APTITUDES TECHNOLOGIQUES

	Navinic	Navibronze
Conductibilité électrique	Peu conducteurs	
Conductibilité thermique	Peu conducteurs	
Amagnétisme	Bon	Très bon
Résistance à l'usure	Médiocre	Bon
Résistance aux chocs	Bon	Bon
Tenue à l'oxydation	Médiocre	Médiocre
Oxydation marine	Très bon	Très bon
Erosion marine	Très bon	Très bon
Piqûre	Très bon	Très bon
Sous tension	Très bon	Très bon
Antifouling	Très bon	Très bon
Forgeage à chaud	Bon	Médiocre
Matriçage à chaud	Bon	Médiocre
Filage à chaud	Bon	Médiocre
Cambrage à froid	Très bon	Très bon
Cintrage à froid	Très bon	Très bon
Etirage à froid	Très bon	Très bon
Matriçage à froid	Médiocre	Très bon
Sertissage à froid	Très bon	Très bon
Soudage TIG	Très bon	Très bon
Soudage MIG	Très bon	Très bon
Soudage à l'arc	Très bon	Très bon

APTITUDES A L'USINAGE :

- Outils au carbure nuance ISO = K10, K20.
- Aciers rapides supérieurs = HSS.
- Angle de coupe = 10 à 20°.
- Vitesse de coupe avec outil au carbure : 200 à 300, avec outil ARS : 40 à 60 (en m/mm).

La lubrification est nécessaire pour le Navinic 10 et facultative pour le Navibronze.

LE CUPRONICKEL ET LA CONSTRUCTION NAVALE

La production de tôles, de barres rondes, de méplats et profilés permet d'employer le *Cupronickel* en construction navale pour l'ensemble du bordé de coque et de pont, de la structure et des apparaux, y compris la ligne d'arbre de moteur et la mèche de gouvernail.

Les *Cupronickels* de la société VDM les plus utilisés sont le Cunifer 10 et le Cunifer 30.

Le Navinic 10 est utilisé en construction navale de pêche et de plaisance. Le Navibronze est utilisé par la Marine nationale.

Les avantages du *Cupronickel* sont sa grande résistance aux frottements et aux chocs, sa résistance à la corrosion et à l'érosion marine, son amagnétisme. Son prix et sa densité limitent son usage à des bateaux de grande à très grande taille. Il paraît très improbable de le trouver valable en dessous de 14 mètres du point de vue du prix, ou de 10 mètres du point de vue du poids.

Mais peut-être le développement de

techniques fines permettra-t-il de descendre ces seuils. Ne disait-on pas en France, il y a moins de 10 ans que l'acier n'était pas intéressant en dessous de 10 mètres, alors qu'en Allemagne et surtout en Hollande se construisaient des voiliers d'usage courant (je veux dire sur le même programme que des bateaux en polyester de même taille) de 6,50 m à 7 m !

Simple manque d'information ou d'imagination.

L'acier gagne de la clientèle partout dans le monde, aux Etats-Unis, au Canada, et les bateaux réalisés sont de plus en plus légers et proches des bateaux en aluminium. Rien ne permet de dire que le *Cupronickel* ne suivra pas la même courbe ascendante quant à la taille des bateaux de plus en plus petits réalisés. Par contre, il y a peu de chance que le coût baisse !

Mais un secteur de fort emploi du *Cupronickel* est l'antifouling. En effet, ce matériau contenant du cuivre peut ne pas être revêtu sous la flottaison, est par lui même antifouling. D'autant que la perte de matière par l'érosion et les corrosions marines est très faible.

Le « *Bronze Industriel* » me cite des crevettiers américains, construits en acier, revêtus du *Cupronickel* sous la flottaison. On y a enregistré un appréciable gain de vitesse, grâce à une carène plus propre et une économie dans la maintenance grâce au rôle antifouling permanent du *Cupronickel*. En Angleterre et aux Etats-Unis, mais aussi en Hollande avec les précautions d'usage pour les coques en acier, on recouvre les carènes de feuilles de Cupronickel.

Ces feuilles sont de fines pellicules de *Cupronickel* enduites sur une face d'une résine adhésive, elle-même protégée par un film plastique. On ôte ce film, on applique la feuille de Cupronickel contre la carène, et on chauffe avec un chalumeau (flamme jaune) ou un appareil projetant de l'air chaud. La résine fond et colle la feuille de *Cupronickel*. Les feuilles sont découpées en bandes ou en carrés, selon les formes de la coque et sont posées les unes à côté des autres, jusqu'à ce que la carène soit recouverte. On remonte 10 à 20 cm au-dessus de la flottaison. Il est important pour la bonne tenue de ces plaques de ne pas les ajuster, jointives. On laisse environ 3 mm entre les plaques. Il ne faut pas oublier qu'on colle une feuille de métal sur une coque en formes non développables. Elles sont découpées de façon que, non déformables, elles adhèrent cependant bien à la carène. Pour cela, on doit adapter zone par zone et bateau par bateau le découpage des feuilles de *Cupronickel* aux formes de la carène.

Ce rôle d'antifouling est celui qui a le plus de chances de faire se développer l'usage du *Cupronickel* pour le doublage de bateaux en acier, polyester, contreplaqué ou bois. Pas de Cupronickel, bien sûr, contre un bateau en alliage d'aluminium !

D'ailleurs, si l'usage du Cupronickel se développait sur nos côtes, les bateaux en aluminium auraient bien du souci à se faire !

Un pionnier de cette technique, en Angleterre, est *Fred Mitchell*, chez le constructeur de bateaux en bois *Bill Peterson*. Les feuilles de Cupronickel employées par *Fred Mitchell* mesurent 8 inches × 24 inches. Elles ont au minimum 0,05 inch d'épaisseur et sont chauffées à 80° Farenheit. *Mitchell* parle de 27 à 140° Farenheit. Il utilise aussi du *Cupronickel* en rouleau de 8 inches de large. La résine adhésive est présentée entre deux feuilles de polyéthylène, l'une qui la protège, l'autre qui permet de l'appliquer contre la carène. On ramollit la résine et on colle la feuille de *Cupronickel* pur. C'est une seconde technique. Les panneaux sont nettoyés après leur pose. L'antifouling est prêt, et il va durer ! Il suffit de laver de temps en temps la surface de la carène devenue auto-antifouling.

Naturellement le *Cupronickel* est également utilisé pour la construction proprement dite. On en fait des pièces d'équipement, des arbres d'hélices, des hélices. Et bien sûr des coques ! En Europe, un spécialiste reconnu non seulement de la construction en *Cupronickel*, mais aussi en acier est le chantier hollandais de Medemblick : *Jongert*. Ce chantier emploie 110 personnes. C'est un fleuron de la construction hollandaise, qui a exporté 35 % de plus de bateaux vers les Etats-Unis, en 1981 par rapport à 1980. Les U.S.A. connaissent la construction métallique à travers la tradition hollandaise, et surtout la construction en acier.

M. *Kees*, du chantier *Jongert* dit que *« le polyester n'est pas fait pour des bateaux de la taille de ceux qu'il construit »* et ajoute sur l'aluminium *« que ce n'est pas un matériau pour vivre sur l'eau de mer. Et si vous voulez un bateau pour la vie, il vous faut un bateau en acier ! »* Un avis de connaisseur ! La production de Jongert se situe à la frontière entre les *« bateaux »* et les *« navires »*.

La plupart des bateaux sont en formes et construits dans le respect le plus pur de la tradition, sur membrures. Un 62 pieds de chez Jongert coûtait en 1981-82 un bon demi-million de dollars !

Un matériau qui représente une alternative luxueuse et directe à l'acier, sans entretien. La réduction du coût de maintenance le fait choisir par de nombreux armateurs de bateaux de pêche. Ni les herbes, ni les coquillages ne se collent sur le *Cupronickel*. Gain de vitesse et économies de carénage pour les bateaux faits dans ce matériau qui n'ont pas besoin d'être tirés en cale sèche !

Possesseur du voilier *Aspérida 2* construit en 1967 chez *Jongert*, le professeur *Dr Kenneth-W-Coons* écrivait en 1974 que de 1967 à 1974 *« son bateau n'avait pas nécessité de carénage en cale sèche, et qu'il n'y avait de salissures ni sur l'arbre d'hélice, ni sur l'hélice, ni sur la coque »* ! Il ajoutait *« que son bateau se révélait rapide au moteur comme à la voile du fait de sa carène propre, et consommait un minimum de fuel »*. M. *Hooijman* de Curacao ajoutait *« que son bateau « Ilona » avait une carène impeccable au bout de 2 ans »*.

L'expérience de ces deux grands yachts en *Cupronickel* naviguant en eaux tropicales particulièrement agressives et riches en *« salissures »* de toutes sortes, minérales, animales et végétales, montre la valeur indéniable des alliages de *Cupronickel* dans la construction navale.

18

MÉTAUX ET FIBRES DE SYNTHÈSE

Comme nous allons voir ci-après, il est possible d'allier les qualités des métaux à celles des fibres synthétiques. On notera :

- la stratification d'une coque en acier,
- la fabrication de mèches de gouvernails mixtes métal et fibres synthétiques,
- la fabrication de mâts, bômes et tangons en aluminium et fibres synthétiques,
- la structuration de coques en fibres de synthèse par des raidisseurs métalliques,
- l'ancrage des cadènes métalliques dans les bateaux en polyester.

CADÈNES MÉTALLIQUES, COQUE EN POLYESTER

L'expérience qu'il est illusoire d'attendre d'un collage de cadènes en acier inoxydable, et elles sont toutes faites en inox sur les bateaux en polyester, qu'il suffise à retenir le métal contre les tissus de verre de la coque ; aussi a-t-on opté pour deux solutions. Soit, on boulonne les cadènes en *« inox »* sur le cloisonnement des aménagements, lui-même scellé au bordé. Soit, on mise sur l'accrochage des cadènes par une forme adéquate en T inversé, voire en T avec plusieurs barres horizontales. La stratification mêle ses fibres autour de cet ancrage de forme sans recherche particulière de collage.

STRUCTURE MÉTALLIQUE

On trouve deux types de structures métalliques sur les bateaux en fibre.

- Le varangage des fonds et une structure porteuse de tous les efforts. Le varangage est le simple pincement des fonds en polyester entre la quille, généralement faite en fonte lorsque la nécessité de ce type de montage existe, et un carlingage en acier galvanisé, décroissant vers les côtés, vers l'avant et vers l'arrière. La partie centrale reçoit les goujons de quille et offre une structure rigide pour reprendre les efforts principalement latéraux du lest. L'ensemble du carlingage disparaît sous la stratification qui le scelle aux

fonds. Il arrive souvent que la grande différence de comportement aux contraintes de flexion désolidarise le métal de la fibre de verre. En cas de choc, les ancrages métalliques déchirent la fibre de verre et prennent du jeu. Beaucoup de rigueur et de forts échantillonnages sont nécessaires pour que ce type de montage tienne.

On note la même impossibilité de renforcer les fonds d'un dériveur en polyester désirant reposer sur son fond plat (dériveur intégral). Aucun système, aucun, ne résiste au temps, à la souplesse évidente du polyester, à l'usure inévitable des fibres qui se cisaillent, à l'infiltration des salissures qui pourrissent le stratifié, à l'imprégnation d'humidité. Aucun, que ce soit un quadrillage de barres, de lames ou de fils d'acier galvanisé ou inoxydable. Aucun, que ce soit une semelle d'acier inoxydable boulonnée ou un « *ventre* » d'acier galvanisé inclus dans la stratification.

Par contre, pour la course, on note l'intérêt des structures tubulaires dites « *structures Bergstrom* » qui encaissent simultanément en les renvoyant les unes sur les autres, les tractions de haubannage, la compression du mât, la flexion de la coque, les flexions alternées transversales du lest. Inaugurées dans les années 77 par *Bergstrom*, ses structures en poutrelle ont été mises au point sur l'Admiraler américain « IMP » (Admiral's cup de 1977 et 1979) puis sur beaucoup de bateaux dont le trimaran « *Kriter* » de *Tom Grossmann* et « *Tuesday's Child* » *(Warren Lurs).*

Ces poutrelles sont en général constituées de tubes d'ASGM ou d'AG4MC soudés les uns aux autres, ou encore de profilés en L, T ou U soudés ou boulonnés. Ces reprises sur la coque se font par de larges plaques et des doublantes. En fait, la peau du bordé est suspendue à la structure interne, qui absorbant les efforts, libère l'enveloppe d'une grande partie des contraintes et permet de l'alléger considérablement. Au détriment de la résistance aux abordages, mais pour un bateau de course au « *Top niveau* » il faut savoir ce qu'on veut !

A noter tout de suite que ce type de structure n'est absolument pas adapté à la croisière, ne serait-ce que par sa géométrie aussi arachnéenne qu'envahissante !

Au contraire, pour la course et les petits bateaux de sport, c'est une des plus sûres voies pour demain car, par la logique absolue de sa démarche, elle donne ce qui se fait de plus léger, notamment aux extrémités, et ce qui se fait de plus solide juste là où il le faut. La plate-forme rigide permet de raidir parfaitement les étais et d'améliorer l'angle et la vitesse de remontée au vent. Sur IMP, le bordé était, de plus, réalisé en sandwich, ce qui est de plus en plus courant pour les bateaux de course. Sur le plan du calcul théorique, la structure Bergstrom permettait d'alléger de quatre fois le poids du stratifié. Mais des impératifs de solidité de la peau contre les vagues et des objets flottants limitent ce gain à un niveau très inférieur à trois.

MATS ET MÈCHES

On a tenté d'allier les qualités de flexion de l'ASGM des mâts ou des AG3 et AG5 des mèches de gouvernails à celles de rigidité des fibres de bore et de carbone. A un moindre titre, des essais ont été faits aussi avec le Kevlar. On assiste en général à des accroissements de performances, une raideur augmentée, un gain de poids, une diminution de la section à résistance égale. Mais aussi à des décollements à peu près inévitables et à des effondrements brusques des caractéristiques mécaniques suite à ces décollements qui provoquent des réponses hétérogènes aux contraintes exercées.

Fait significatif, lors du tristement mémorable *Fastnet* de 1979 où l'on déplora 15 morts, on enregistra 25 avaries de gouvernails, dont 9 en classe I. Pratiquement toutes ces avaries sont attribuables à l'emploi de mèches mixtes alliant l'aluminium ou le titane à de la fibre de bore ou de carbone collée en long. Cela causa pour l'ensemble de la flotte, de 23 à 11 % de bris de gouvernails. Certes, il n'y avait plus toujours de barreur pour contrôler les embardées des bateaux qui avaient été abandonnés par leurs équipages lorsque certains gouvernails cassèrent, mais la mise en cause de ce type d'association d'un métal à de la fibre de synthèse est assez claire pour qu'elle ne soit répétée qu'avec la plus grande méfiance.

Lorsqu'il y a flexion de l'élément mixte, on peut hélas envisager qu'il y aura désolidarisation du métal et de la fibre, leurs caractéristiques mécaniques étant plus différentes qu'associables.

UNE EXPÉRIENCE DE STRATIFICATION D'UNE COQUE EN ACIER DOUX

Cette expérience a été faite en 1975 par M. *Roelens*, autodidacte de génie, à côté de Gand en Belgique. Constructeur amateur d'un voilier de 14 mètres en acier, André *Roelens* a décidé de ne pas peindre la coque à doubles bouchains de son bateau nommé Kittiwake. Il l'a plastifiée de 5 mm environ de mats et tissus de verre de 400 g/m² chaque. La plastification a été faite classiquement sur la coque revêtue de ses couches de peintures de protection au zinc, et enduite localement pour éviter les accidents de surface où l'adhérence du polyester pourrait être douteuse. La coque protégée par ses peintures au zinc a été enduite de résine. La stratification a été faite sur cette résine, extérieurement. Puis, la stratification a été enduite aux mastics polyester et peinte aux peintures polyuréthane. De 1975 à 1983, le bateau a beaucoup navigué en mer du Nord, par tous les temps, a subi les petits et gros chocs, abordages et ragages qui sont le lot de tout bateau. Le polyester tient parfaitement sans présenter de signes de décollements et de délaminages.

Je pense qu'une telle expérience pour probante qu'elle soit, si elle peut encourager certains à essayer la même démarche, ne doit pas faire oublier le risque de voir de l'humidité se développer entre le polyester et l'acier. C'est une possibilité intéressante à n'essayer qu'avec beaucoup de précautions. Il faut un bateau bien lisse, sans trop d'accidents de surface, des soudures bien meulées et enduites ; des peintures au zinc bien appliquées dans un local sec à température et hygrométrie constantes : une stratification bien soignée à l'abri des courants d'air et de l'humidité. Puis, il faut soigner l'étanchéité extérieure de la couche de verre par des enduits et des peintures de qualité. La stratification est faite une fois le bateau terminé, toute chaudronnerie faite, ponté. On la fait sur le bateau remis quille en l'air. Il faut donc retourner le bateau deux ou trois fois. **Cette plastification est à proscrire absolument pour un dériveur** qu'on désire poser sur son fond plat. L'adhérence n'y résisterait pas plus que ne résisteraient les fibres à l'écrasement et au cisaillement.

Intéressant, mais pour amateur patient et éclairé. Et côté budget, c'est plus cher que de peindre !

Pratiquement, il faut aussi un gros liston pour pincer le haut de la stratification et éviter la descente d'eau, car il est impensable de stratifier le pont à cause de toutes les embases d'accastillage soudées. En effet, le polyester devrait entourer ces embases et, de façon certaine, l'humidité s'infiltrerait entre le verre et l'acier !

Pourrissement assuré sous le verre et dans le verre !

Le haut de la stratification doit être soigné. Il faut choisir entre ces solutions :

- faire un pavois et l'enveloppe de la stratification qui sera pincée, repliée avec le haut du pavois,
- arrêter le verre en haut du bordé sans pavois, à 5 à 10 cm du pont et le pincer avec le liston en bois. Bien étancher avec du mastic semi-rigide,
- remonter le verre au-dessus du niveau du pont dans une construction sans pavois replier le verre sur 5 à 10 cm sur le pont avant d'atteindre les pieds de chandeliers et balcons et le pincer avec un calepied continu. Mais cette solution présente les inconvénients d'être difficile à organiser près de la ferrure d'étrave et à chaque dalot d'évacuation d'eau. Elle serait assez compatible avec un pont en bois car le verre pourrait être mis de niveau avec le bois par une feuillure d'une profondeur égale à l'épaisseur du verre.

Préférez les deux premières solutions.

Plastifier un bateau en acier est une option qui peut être valable mais qui doit être parfaitement réalisée pour ne pas se transformer en « *catastrophe* ».

L'association verre et métaux reste un exercice très difficile dont les échecs sont cuisants !

NOTA

Le grand catamaran de *Marc Pajot, Elf Aquitaine* a remporté la seconde édition de la *Route du Rhum*. Les coques et poutres ont été construites en aluminium.

Le mât, tournant, présente la particularité d'être en fibres de carbone renforcées d'une âme d'aluminium, rivée.

En collage, ce type de construction donne de bons résultats mais nécessite que l'entreprise constructeur possède plus que la technique aéronautique, la technique spatiale.

En effet, de la fibre de carbone ou de bore peut être contre-collée sur l'alliage et améliore ainsi de 2,5 à 3 fois ses caractéristiques.

Il est de la plus grande importance que les fibres soient « *collées* » en long, sans coupures ni entailles, ni blessures d'aucune sorte. Le contre-collage se fait à chaud dans une matrice d'aluminium. C'est un auto-collage thermoplastique.

On peut aussi utiliser des collages à base de résines époxydes.

Si le renforcement des mèches de gouvernails, semble abandonné suite à un grand nombre de ruptures, celui des mâts continue, mais avec des coûts de mise en œuvre qui excluent son application sur les bateaux de grande diffusion.

19

LES MÉTAUX ET LA PÊCHE

Il est à peu près impossible dans un ouvrage tel que celui-ci de traiter de la pêche, en détail.

Les bateaux de pêche, disons dans des tailles importantes, au-dessus de 18 mètres, répondent à des impératifs internationaux dont il apparaît vite qu'ils sont bâtards et peu modernes.

Les bateaux en bois pour la petite pêche et les pêches douces (palangriers, sardiniers et autres pêches au filet ou à « *la ligne* ») sont à peu près libres. Ce sont des bateaux de 14 à 19 mètres en général. Les bateaux de plus grande taille, en acier sont très réglementés par des systèmes de jauges qui déterminent des tonnages et les échantillonnages. Des plans ont été faits en 1974 pour essayer de standardiser la flotte de pêche. Mais les nécessités de la surveillance à la construction ont vite fait apparaître deux pôles. Ou bien les inspecteurs n'avaient plus qu'à s'occuper de l'équipement, cela justifiait-il encore leur emploi ? Ou bien les inspecteurs vérifiaient l'ensemble de la construction et chaque bateau redevenant l'objet de soins particuliers ne tarderait pas à se voir doté de détails fruits de la modernisation et de l'expérience.

Ce qui se passa !

Mais par-dessus cette tentative de modernisation s'ouvrirent des parapluies administratifs depuis les bureaux de surveillance jusqu'à la Marine Marchande.

De parapluie en parapluie, l'ensemble de l'édifice s'alourdit, se gèle, se fige. Les bateaux coûtent une fortune à la construction alors qu'on connaît des méthodes qui permettraient de les fabriquer aussi solidement et plus vite. Las !

Désormais, l'acier est roi pour les chalutiers. D'abord l'acier a conquis les armateurs de grands bateaux et maintenant les esprits prudents comme sont ceux des marins pêcheurs s'ouvrent petit à petit. Une question tracasse encore quelques-uns. Au chantier *Glehen* de Douarnenez, on me raconta que certains pêcheurs croient encore que le bois étant un matériau moins dense que l'eau de mer, un bateau en bois flotterait mieux qu'un bateau en fer. Il ne faut pas rire de cette opinion qui hérite de générations rendues humbles par le rude travail de la Mer. Certes, l'homme à la mer peut s'accrocher à une poutre de bois qui flotte mieux qu'à une tôle d'acier ! Mais, la différence est qu'à choc égal, le bateau en acier ne va même pas se percer alors que le bateau en bois va faire eau et peut-être se disloquer. La construction en bois a atteint de tels prix et est si lourde que les bateaux en acier peuvent être très largement échantillonnés pour un prix égal et un poids égal.

Et Dieu sait s'ils sont échantillonnés !

J'ai vu de tels bateaux en construction. Des merveilles de beauté et hélas de désuétude.

Les chalutiers sont construits sur leur quille. Cale à poissons, réservoirs et bâtis moteurs viennent de construction et participent à la raideur. La structure est de type carlinguée avec des quadrillages de tôles longitudinales et transversales découpées. Les découpes sont entourées d'un plat soudé.

On trouve des quilles en tôle pleine de 60 mm, des structures et bordés en tôles épaisses (8 à 16 mm) des ponts en 5 et 6. Les nuances d'acier sont en général de l'E24.2 et E.26.

Surveillance Véritas.

Le progrès passe-t-il par l'allègement de ces bateaux ?

Les petits bateaux de pêche douce doivent naviguer sans trop être agités par les vagues afin de ne pas donner d'à coups dans les lignes (palangres).

Les chalutiers doivent posséder une forte inertie pour tirer leur chalut d'une façon constante et puissante. Aussi de tels bateaux doivent-ils être lourds et puissants. « *Construis-moi un bateau lourd !* » demandent les patrons-pêcheurs au *Chantier Glehen*.

Transversalement, ces bateaux roulent. On limite le roulis par des quilles et par la forme des bateaux.

Mais, on a constaté qu'un trop net allègement des hauts accélère les mouvements et au lieu d'une amélioration des conditions de travail des pêcheurs, on complique leur tâche en leur faisant perdre l'équilibre sous les brusques coups de rappel.

Ainsi, les ponts sont en acier et bois mais pas en aluminium. Cela viendra peut-être avec de nouveaux dessins de carène. Pour le moment, ce n'est pas le cas (1983). Par contre, les cabines posées sur le pont sont en alliage d'aluminium ou en bois plastifié.

Le plastique, polyester armé, ne paraît pouvoir satisfaire que les armateurs des plus petits bateaux, de pêche douce. Et encore, le martelage des bateaux contre les quais provoque-t-il des délaminages.

La vitesse de chalutage est voisine de trois nœuds. Améliorer la vitesse des chalutiers par des nouveaux dessins de carènes ne peut intéresser que les bateaux qui ont un temps de trajet (aller-retour) au moins aussi long que le temps de pêche.

On a constaté que l'emploi d'un bulbe d'étrave n'était pas un progrès car ces bateaux courtauds, larges et profonds ne naviguent pas en système calme mais dans les vagues de surface. Ils tanguent beaucoup et l'écoulement perturbé de l'eau le long de la coque ne trouve aucun intérêt à ces bulbes. Un bulbe est efficace pour un long bateau très enfoncé dans l'eau.

Un chalutier de 24 mètres travaillant dans des creux de 12 mètres sort de la moitié de sa longueur sur le haut des crêtes pour retomber dans la vague suivante. On imagine les coups de boutoirs et le porte-à-faux que de telles conditions engendrent.

Un domaine aussi différent de la plaisance doit rendre très humble le candidat architecte qui veut s'intéresser au dessin de bateaux de pêche dure.

L'entretien y a assez peu d'importance. Les peintures sont appliquées sur une métallisation au zinc à chaud et sont refaites une fois par an environ. Balcons, chandeliers, échelles, rembardes, tout est en acier. Une « barbouille » annuelle recouvre l'ensemble.

Il y a une forte condensation dans certaines zones sous les ponts secondaires et la corrosion intérieure est forte.

Il est impossible de parer à la corrosion galvanique efficacement, autrement qu'en multipliant le nombre des anodes (soudées). Les hélices sont en bronze, rarement en fonte, jamais en aluminium. Elles tournent à 5 mm d'une tuyère aux superbes formes chaudronnées. Ces tuyères qui améliorent de 20 % la propulsion des hélices sont en acier sur une âme d'inox. Elles contiennent de l'huile.

La modernisation des bateaux de pêche douce, doit se faire avec prudence en tenant le plus grand compte des traditions. C'est encore bien plus vrai pour les bateaux de pêche dure et spéficiquement pour les chalutiers.

Les méthodes facilitant la construction et abaissant le coût à solidité globale identique seront bienvenues. Il faudra convaincre les administrations de tutelle qu'une partie de la sauvegarde de ce métier passe par l'abaissement des coûts et non par le subventionnement d'unités chères parce que bien construites mais très mal conçues. Très mal ! Le « *Floating system* » doit faire son apparition le plus tôt possible ! Nous sommes tous concernés car une part des impôts que nous payons, passe dans le subventionnement inutile de techniques démodées. La glisse doit être améliorée la stabilité aussi. La périodicité et la durée des carénages.

La vitesse et la stabilité peuvent être accrues par des allègements réfléchis qu'on obtiendra avec l'acier, de nouvelles techniques de construction, l'emploi de l'aluminium.

La lutte contre la corrosion et des économies sur le fonctionnement et la maintenance passeront par l'emploi de l'aluminium, de l'inox, de meilleures peintures, de l'isolation, du cupronickel (10 ans sans carénage dans nos eaux).

De nouvelles techniques a essayer sont : l'*aluminium*, le *cupronickel*, les *formes catamaran*, le *« floating system »*, l'*inox*, les *peintures au zinc*, etc.

La construction à bouchains a déjà été une révolution efficace !

Il faut continuer. C'est ce que font des chantiers inspirés modernes comme celui de la famille *Glehen*, au *Guilvinec* que je remercie ici pour la chaleur de leur accueil, leur compétence et leur esprit ouvert.

CARNET D'ADRESSES

— Le Bronze Industriel
(Cupronickel)
49, rue de Paris, 93001 Bobigny.

— Bureau Véritas (Vérifications et calculs)
31, rue Rochefort, 75017 Paris.

— Cegedur (Alliages d'aluminium) Cegedur-Péchiney
66, avenue Marceau, 75008 Paris.

— Centre Français de la Corrosion
28, rue St-Dominique, 75007 Paris.

— Copim (Pendanodes et Anodes)
4, rue Choron, B.P. 194, 75422 Paris cedex 09.

— Ifta (Institut Français des Technologies de l'Aluminium)
87, boulevard de Grenelle, 75015 Paris.

— Otua (Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier)
5 bis, rue de Madrid, 75367 Paris cedex 08.

— La Revue de l'Aluminium
5, rue St-Philippe du Roule, 75008 Paris.

— Ugine-Aciers
Péchiney-Ugine-Kuhlmann (Service Titane : Cézus)
15, rue du Rocher, 75361 Paris cedex 08.

— Ugine-Gueugnon (Uginox) aciers inoxydables
100, rue de Villiers, 92307 Levallois-Perret.

— Usinor (aciers, aciers patinables, Indaten)
6, rue Daru, 75008 Paris.

— Centre Technique du Zinc (Anodes et traitements au zinc)
34, rue Collange, 92307 Levallois-Perret.

— Analyse des métaux. Essais mécaniques. Mesures de contraintes par jauges extensométriques. Acoustique. Laboratoire National d'Essais.
Section Métallurgie, 1, rue Gaston-Boissier, 75015 Paris.

— Bureaux de contrôle, Bureau Sécuritas
Tour Maine Montparnasse, 33, avenue du Maine, 75755 Paris cedex 15.

— Socotec
« Les Quadrants », 3, avenue du Centre, 78182 St-Quentin-en-Yvelines cedex.

— Bureau Véritas
35, rue P. Vaillant-Couturier, 92307 Levallois-Perret.

— Renseignements sur la corrosion Syndicat Général des Industries pour le Traitement des Surfaces.
10, avenue Hoche, 75008 Paris.

— Documentation technique sur l'élaboration et le travail de l'acier et sur les propriétés des métaux ferreux Centre de Documentation Sidérurgique (C.D.S.)
1, rue Paul-Cézanne, 75008 Paris.

— Utilisation de la tôle d'acier galvanisée, ou galvanisée prélaquée, ou galvanisée plastifiée Centre d'Information de la Tôle d'Acier Galvanisée (C.I.T.A.G.)
5 bis, rue de Madrid, B.P. 707-08, 75367 Paris cedex 08.

— Renseignements sur l'industrie sidérurgique. Organisation de la profession. Chambre Syndicale de la Sidérurgie Française (C.S.S.F.)
Direction des Relations extérieures, 5 bis, rue de Madrid, B.P. 707-08, 75367 Paris cedex 08.

— Normes de produits, de qualités et de méthodes d'essais et d'analyses Bureau de Normalisation de la Sidérurgie (B.N.S.)
5 bis, rue de Madrid, B.P. 707-08, 75367 Paris cedex 08.

— Renseignements concernant le soudage des produits sidérurgiques Institut de Soudure
32, boulevard de la Chapelle, 75880 Paris cedex 18.

— Etudes et recherches visant au progrès des techniques de la construction métallique Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (C.T.I.C.M.).
20, rue Jean-Jaurès, 92807 Puteaux.

Remerciements

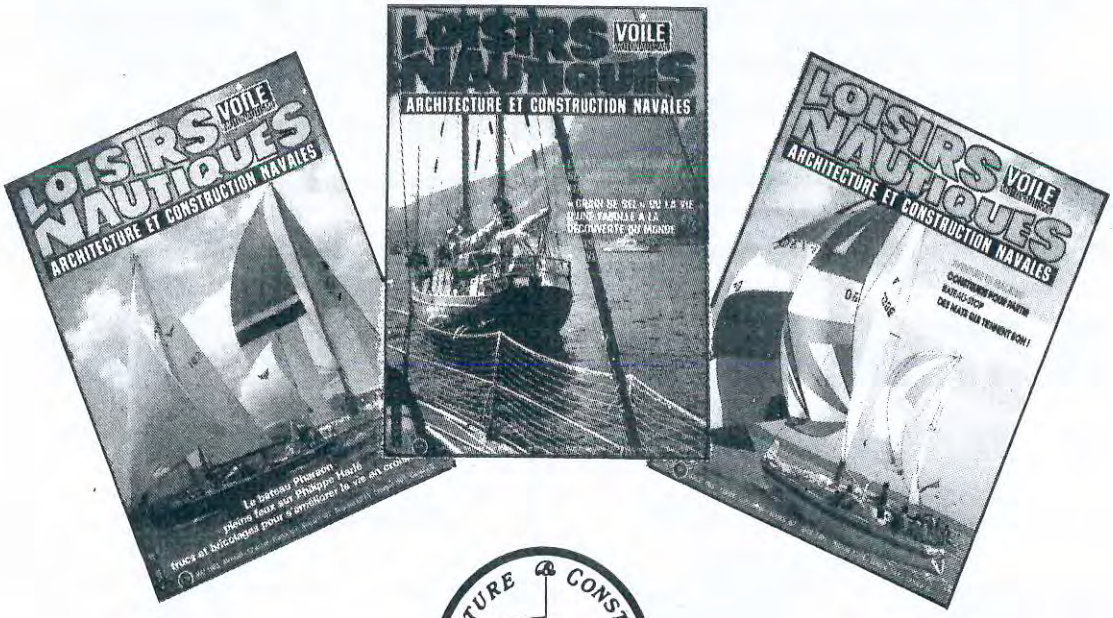
L'auteur et toute l'équipe de Loisirs Nautiques remercient les personnes et les sociétés suivantes pour leur aide. Sans elles, ce numéro Hors Série n'aurait pas vu le jour en d'aussi agréables conditions.

ACNNO Fontaine (constructeur).
Alcan.
Alizés Marine (constructeur).
F. Allard.
Barbarossa (fabricant).
Daniel BOMBIGHER (architecte).
Le Bronze Industriel.
Bruce Roberts (architecte).
Maurice Brument (constructeur).
Bureau Véritas.
Cégédur.
Carénal (constructeur).
Ets Carlier.
N. et R. Caroff.
Noël Carrère (architecte).
CEZUS.
Ciba-Geigy.
CICR (constructeur).
C.N. Aquitaine (constructeur).
M. Cœurderoy.
Philippe Colin-Olivier.
Commercy.
COPIM.
Davum.
M. Delsaux.
Le Dr et Mme Maurice Duflos.
Dufour Aluminium (constructeur).
C. Emelie.
Expéditions Vagabond.
FOB (fabricant).
Form'Océan (constructeur).
Gaël Marine (constructeur).
GLEHEN (constructeur).
Graal (étude architecture).
Hiswa.
W. et A. Huisman (constructeur).
IFTA.
International Peintures.
Jongert (constructeur).
J. Kurbiel (navigateur).
F. Le Bot.
Librairie de la Porte d'Auteuil.
Lutèce Studio.
Société Générale du Magnésium.
Marine Marchande, Service Plaisance.
META - (M. Fricaud, constructeur).
Musée de la Marine.
Nirvana (fabricant).
Nordia Yachten.
César Orsini (architecte).
OTUA.
Pechiney.
Mme, M. et C. Perez.
B. Perret.
Chantiers du Port (constructeur).
Proengin (fabricant).
D. Provin (architecte).
C. Quil (ingénieur).
M. Ralys (voilier).
O. Ranchi (architecte).
La Revue de l'Aluminium.
Rhigo.
D. Robert.
SAF.
SAPA.
SCODAL.
François Sergent (architecte).
Sika.
SLPM.
Ugine Gueugnon.
Ugine Kuhlmann.
Usinor.
E. Van de Stadt (architecte).
VIA (constructeur).
Voisin (constructeur).
WIBO (constructeur).
M. Wozniack.
Centre Technique du Zinc.

SI VOUS AVEZ LA CROISIERE DANS LA TÊTE ET LE BATEAU DANS LE COEUR

lisez à chaque parution notre mensuel

LOISIRS NAUTIQUES



Chaque mois, des articles techniques sur la construction amateur et professionnelle des bateaux de plaisance, du kit à la coque nue à la barre en main, des études sur les matériaux, sur l'architecture navale, des bricolages, des tas d'astuces sur l'équipement et l'accastillage, et enfin des récits de croisières et des techniques de navigation.

« **Loisirs nautiques** » c'est un vaste rendez-vous d'idées et de conceptions nouvelles sur l'architecture, la construction navale, les grands vagabondages à travers les océans et la croisière côtière.

« **Loisirs nautiques** » c'est aussi une certaine idée et un certain art de vivre la plaisance.

« **Loisirs nautiques** » : une plaisance et des bateaux sur mesure.

En vente tous les mois chez votre marchand de journaux habituel ou par abonnement à « Loisirs nautiques ». Voir nos conditions intéressantes pages 368-369.

Chantier BRUMENT

Parc d'activité du Coudrier
95650 BOISSY-L'AILLERIE — Tél. 442.19.19

NOUVEAUTE :
VULCAIN 5
Dériveur acier-inox-alu



PLus de 10 ans dans la construction de coques métalliques comme **J. KURBIEL**
pour son « **VAGABOND II** » faites-nous confiance pour l'achat de votre prochaine coque

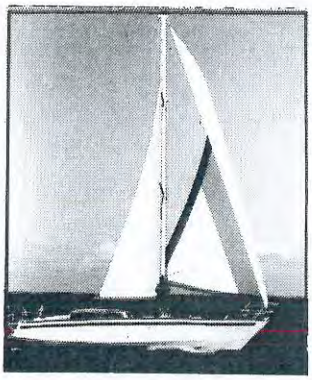
VULCAIN .V. CAROFF Voilier de grande croisière en acier de 10,20 x 3,60 x 1,50

VULCAIN .VI. GRAAL Half-Tonner aluminium quillard ou dériveur de 9,08 x 3 x 1,70

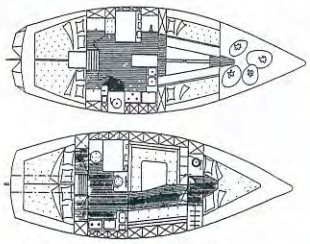
DAMIEN IV

VERSIONS Q.F. ACIER_ALU / Q.R. ALU

1ère catégorie



arch. J F ANDRÉ



longueur	11 m
largeur	3,70 m
t.e.	1,70/0,7_1,90m
s.v.	71 m
dp	7,5 t

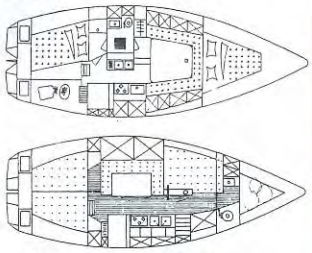
DALITE

DÉRIVEUR INTÉGRAL ALU

1ère catégorie



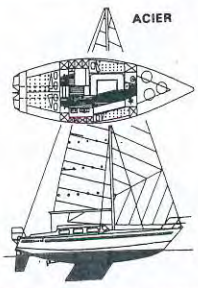
arch. J F ANDRE



longueur	10 m
largeur	3,45 m
t.e.	0,65 / 1,90 m
s.v.	61 m
dp	5,5 t

DANAÉ

lg.	10 m
larg.	3,50m
t.e.	1,5 m
s.v.	65 m
dp	5,7 t _ 1ère catégorie



ACIER

ACNNO

coques nues ou naviguables

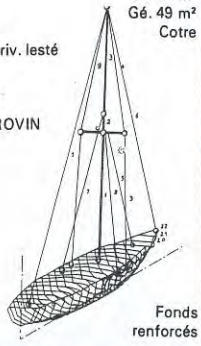
ACNNO bp 15 85680 LA GUÉRINIÈRE
tel. (51) 39 61 95

ASTROLABE 1100 **DERIVEUR INTEGRAL**

Stabilité calculée sur ordinateur S.A.F.R.A.N.

Larg. 3,80 — GV 31 m²
Dép. 8,9 t — Gé. 49 m²
Mot. 30 CV — Cotre
Option : Dériv. lesté Quillard
Rouf court

Arch. D. PROVIN



Fonds renforcés

Homologué 1re catégorie n° 2149
Coque à bouchains ou en semi-forme

ATOLL 10,10 1re catég. Dériveur lesté Q
1 an dans l'Atlantique

ARCHE 10,35 × 3,40 × 7 t. DI ou DL, Q
Cabine arrière - Espace - Economique

ALIX 11,80 × 4,00 × 9,5 t - Q - Cotre
Enrouleur - Opt. château arrière - Essais en mer

ACHIL 1300 et **ACHIL** 13,50 - Goelette et ketch
Grand confort - Autonomie - Charter

Tous vos **EQUIPEMENTS** avec **REMISES**
et + de **30 PLANS** homologués de 9 m à 16 m
qui **NAVIGUENT** - Arch. D. PROVIN
Le Palastre, 56000 PLESCOP (97) 57.68.74

ANC

ATELIER NAVAL DE CUERS — 7, bd Gambetta
Construction Métallique — 83390 CUERS

Le goût du travail bien fait
des ouvrages garantis
Tous devis à l'unité - Tous architectes

Marc PHILIPPE

IFAN

dessine bateaux de haute mer, puissants et confortables, pour construction individuelle bois moulé. Possibilités rendez-vous week-end.

Avenue Lucien Corbeaux
B.P. 836
76060 LE HAVRE CEDEX
Tél. (35) 26.42.87

GOUVERNAIL AUTOMATIQUE

ATLAS :

- Avec aérien et fletner
- Aucune embardée grâce à la **rétroaction**
- Mise en service instantanée
- Etudié spécialement pour VOTRE bateau
- Construit sur mesures
- Au prix de la série
- Entièrement en INOX et DELRIN
- Possibilité de livraison en kit
- Garantie 5 ANS, pièces et main d'œuvre.

DEVIS GRATUIT *Envoyez-nous un plan de votre bateau, il vous sera retourné avec le devis.*

ATLAS MARINE

TOUTES FOURNITURES POUR LA MARINE
ATLAS MARINE
75 bd de la Falaise
17640 VAUX-S/MER
(près de ROYAN)
Tél. (46) 38.47.99

CONSTRUISEZ VOUS-MEME

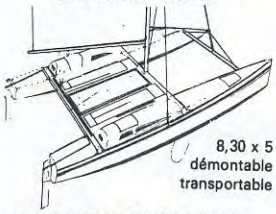
sur notre chantier avec assistance technique, moniteur, formation à la manipulation du polyester assurée sur place pendant les travaux, tous matériaux fournis, crédits possibles pour mâts, voiles, accastillages. Tarifs chantier.

FAST 24 TRANSPORTABLE
Coque, en 6 jours et **8.900 F**
Pont, en 6 jours et **4.700 F**
ou coque pontée construite
Par chantier : 25.000 F



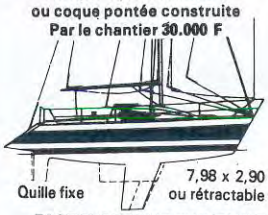
7,10 x 2,49 — 6 couchettes
Poids : 900 kg — Quille rétract.

FAST 28 CATAMARAN COURSE/CROISIERE
Coques, en 8 jours et **10.600 F**
Ponts, en 8 jours et **6.000 F**
ou coques pontées construites
Par le chantier 30.000 F



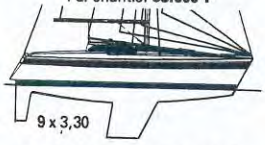
8,30 x 5
démontable
transportable

FAST 26 COURSE/CROISIERE
Coque, en 8 jours et **10.600 F**
Pont, en 8 jours et **6.000 F**
ou coque pontée construite
Par le chantier 30.000 F



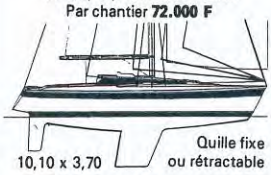
Quille fixe — 7,98 x 2,90 ou rétractable

FAST 30 GRANDE CROISIERE
Coque, en 10 jours et **24.000 F**
Pont, en 10 jours et **12.000 F**
ou coque pontée construire
Par chantier **58.000 F**



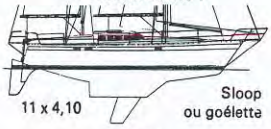
9 x 3,30

FAST 33 GRANDE CROISIERE
Coque, en 12 jours et **32.000 F**
Pont, en 12 jours et **14.000 F**
ou coque pontée construite
Par chantier **72.000 F**



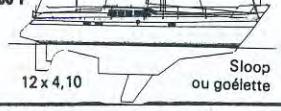
10,10 x 3,70 — Quille fixe ou rétractable

FAST 38
Croisières océaniques
Coque, en 15 jours et **42.000 F**
Pont, en 10 jours et **16.000 F**
ou coque pontée construite
Par chantier **98.800 F**



11 x 4,10 — Sloop ou goélette

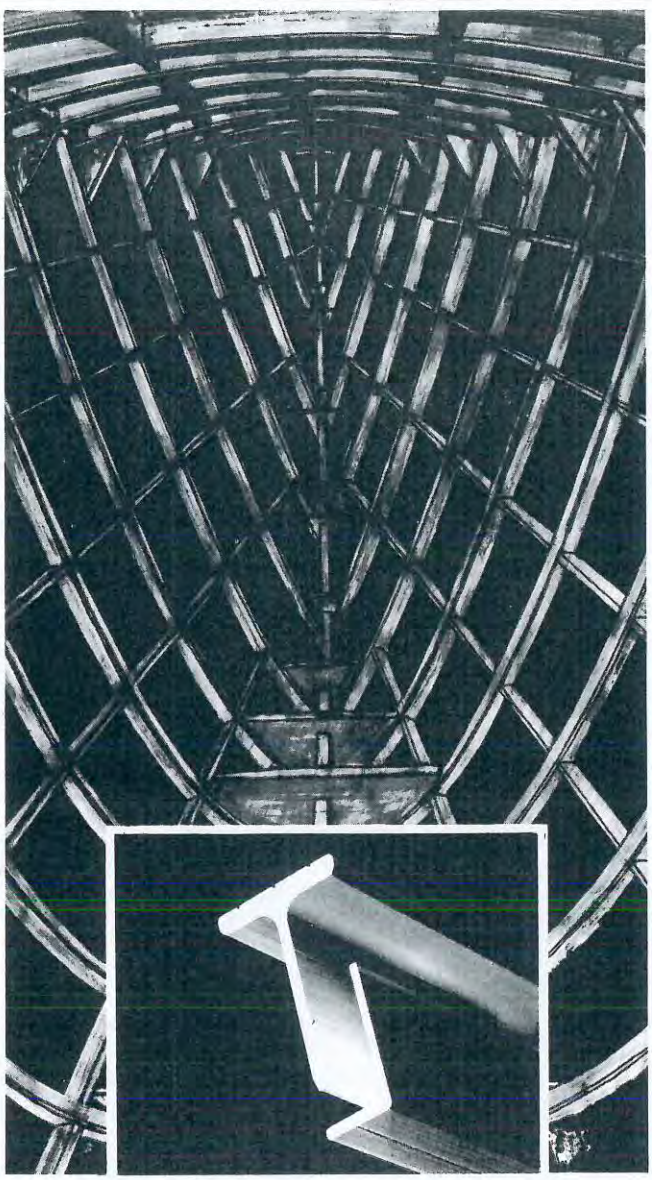
FAST 38
CROISSIERE OCEANIQUE
Durée de stage et tarifs comme ci-dessus avec supplément pour jupe : **800 F**



12 x 4,10 — Sloop ou goélette

Documentation contre 6 timbres

CN G. PERRET
129, rue de la Crau
83260 LA MOUTONNE - Tél. (94) 38.72.97



Les nouvelles "lignes" nautiques

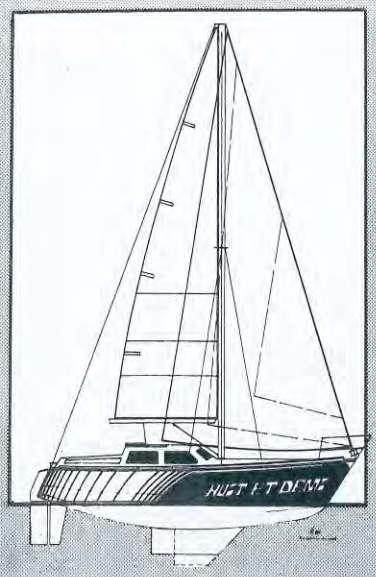
Serie Standard de **PROFILS STRUCTURAUX** etudiés et mis au point pour la construction de coques en aluminium.

Universels parce que utilisables pour la construction de coques mesurant de 5 à 40 m, à voile ainsi qu'à moteur
Rationnels parce que les sections à épaisseurs différenciées et à amples rayons de raccord permettent d'obtenir une résistance maximum par un poids minimum
Maniables parce que les lignes de référence incorporées et les bords déjà préparés pour soudure facilitent l'assemblage tout en réduisant les opérations nécessaires.
Fiables parce que l'alliage 5083 H111 (4.5% de magnésium) conserve des caractéristiques mécaniques élevées, même après soudure; cet alliage a été conçu spécifiquement pour emploi au milieu marin
Sûrs parce que approuvés par le R.I.Na

GRUPPO EFIM

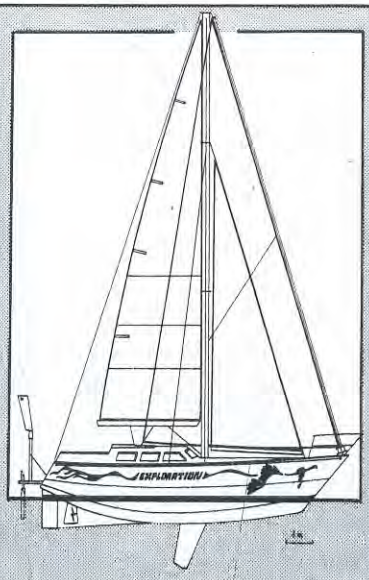
ALLUMINIO ITALIA

00144 Roma EUR P.zza Guglielmo Marconi 25
Tel. ..39/6/549031 Telex 616089-614003 Aluiro I

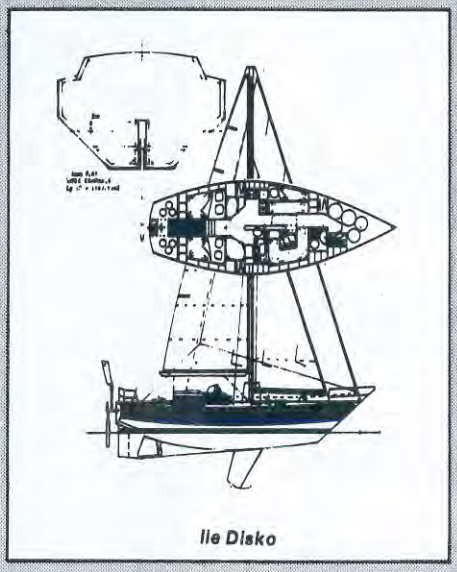


8 et demi

- 15 ans d'expérience de la construction amateur.
- Auteur de SPANIELEK (2e de la Mini-Transat) ; VAGABOND (2 records de latitude nord) ; PETIT REQUIN (trimaran) ; lauréat du Concours du « Cruising World ».
- Etude à l'unité de voiliers de voyage et de vedettes.
- Documentation et liste de chantiers sur votre demande, par téléphone ou lettre aussi détaillée que possible.



Exploration



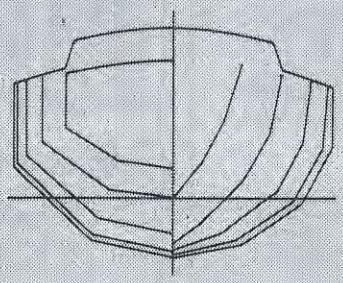
Ile Disko

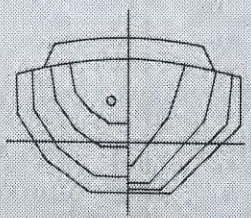
NOMS DES BATEAUX

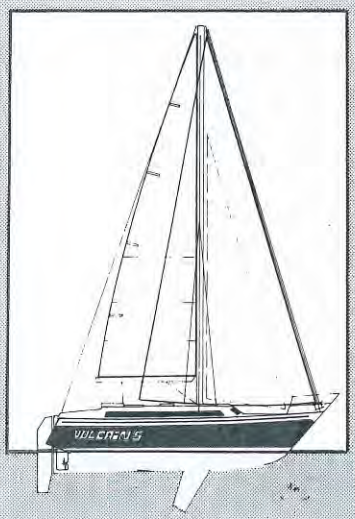
CHATAM, 9,55, Q ou D
VULCAIN 5, 10,20, Q ou D
BULLE DE SOLEIL, 10,50, Q ou D
ALBION, 10, 45, Q ou D
8 mètres, 8,20, Q
8 et demi, 8,50, Q
ILE DISKO, 11,98, Q ou D
VAGABOND'EUX, 14. D
LEX, 14,20, Q
MAKIMA, 14, D

- QUILLARDS et DERIVEURS à double ou triple bouchain en acier, inox ou aluminium plans pour construction amateur.







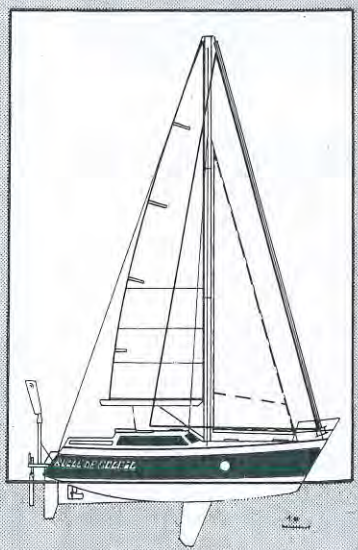


Vulcain 5

caroff

ARCHITECTE NAVAL

121, boulevard Exelmans, 75016 PARIS
Tél. 651.61.36 — de 8 h à 12 h



Bulle de soleil

JNF 38 34

Architectes :
M. JOUBERT
B. NIVELT

CONSTRUITS EN ACIER PAR
Gilles VOISIN



TARIFS SUR DEMANDE

CONSTRUCTIONS NAVALES
G. VOISIN
50430 LESSAY

Tél. (33) 07.16.23

etude subrero
architectes navals

ACIER
ALU

1969 : Premiers triples bouchains acier
1982 : Création du procédé semi-forme

- Une gamme acier qui a fait ses preuves
- Une gamme alu « performances » conçue par ordinateur
- Etudes « à la carte » pour professionnels et particuliers
- Homologations Marine Marchande, LLoyds, Bureau Veritas
- Conseils gratuits aux amateurs
- Chantiers sélectionnés



Avenue de Cannes
06220 VALLAURIS
Tél. (93) 64.39.50

Commandes à distances et directions
MORSE et MARINE MASTER
Appareils à gouverner hydraulique
LS et MARSILI
BARRES A ROUES et VOLANTS
ANODES et COUSSINETS
ACCOUPLEMENTS ELASTIQUES
INVERSEUR REDUCTEUR « BORG WARNER VELVET »
POMPES CENTRIFUGES BRONZE « FORANI »
ETANCHEITE ERCEM pour tubes et passes coques

KENT MARINE EQUIPMENT

Case postale 1208 — 44806 SAINT-HERBLAIN — CEDEX
Tél. (40) 46.59.84 — Telex 700610 F

C.N.B.P.

Bon-Port — Tél. (35) 81.65.34
27340 CRIQUEBEUF/SEINE



EN PREPARATION
FLOREAL 35
A. Noël Carrère

■ 4 carènes ■ 9 aménagements ■ 3 plans de pont

Q.R. T.E.	0,70/2,70
Biquille T.E.	1,35
Quillard T.E.	1,35
Quillard T.E.	1,80

ACIER NAVABORD

Cockpit arrière
ou central
Roof court ou long
Château - Timonerie

TOUS VOS SOUHAITS EN UN SEUL BATEAU

Panneaux
CONTREPLAQUÉS MARINE

EXPÉDITION TOUTE LA FRANCE

Ets CHARLES
111, rue de Stalingrad
93100 MONTREUIL
Tél. (1) 857.35.92

DEPOT A LORIENT, tél. (97) 33.83.70

NOUVEAUX DERIVEURS INTEGRAUX
L.B.E. 3.35 — L.B.E. 4.43 — L.B.E. 4.45

C'EST
La rencontre de l'architecture navale contemporaine et d'une industrie hautement spécialisée dans la transformation des métaux.

C'EST
Des voiliers hauturiers de 1re catégorie de la coque nue au bateau barre en mains.

C'EST
L'aluminium (AG4MC) du 3,35 et 4.45
L'acier inoxydable (Z2 CND 17-13) du 4.43

C'EST
JOUBERT/NIVELT/ROSEO les architectes du 3.35
J.-P. BROUNS/BDS/TRISMUS les architectes du 4.43 et 4.45

ET C'EST LE CONSTRUCTEUR

L.B.E.
LIMOUSIN BERNARD ENTREPRISE
S.A. au capital de 1.001.600 F

Les Culs Méneaux
18110 VASSELAY
Tél. (48) 59.34.15

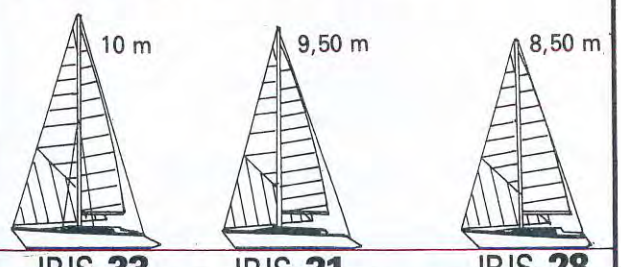
ETUDE CARRERE

ARCHITECTE NAVAL — INGENIEUR AM

- Premier architecte à maîtriser l'acier haute résistance de l'acier.
- Une gamme complète de 8 à 25 m
- Des constructeurs sélectionnés
- Plans professionnels et amateurs
- Suivi de chantiers
- Etudes unitaires acier-alu-polyester

« Un plan sérieusement étudié est votre seule garantie d'avoir un bon bateau ».

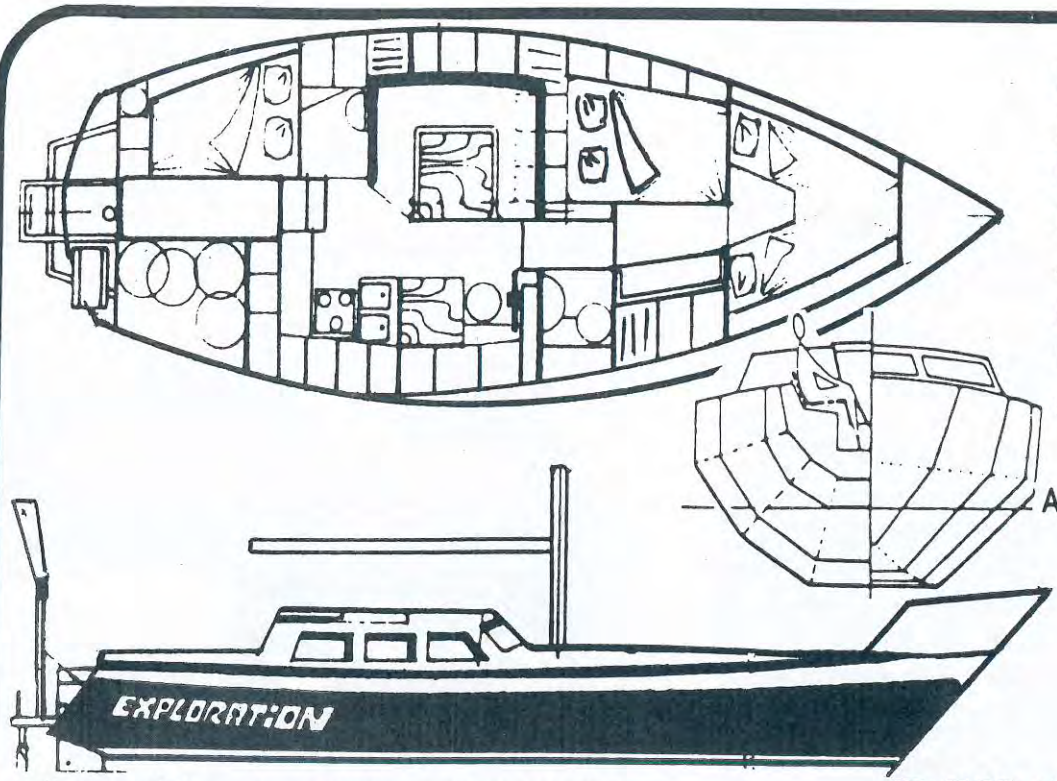
FLOREAL 38 présent au GRAND PAVOIS 83
NOUVEAUTÉS 84 : La gamme IRIS en acier
NAVABORD haute résistance galvanisé



IRIS 33 IRIS 31 IRIS 28

Disponibles terminés, coque nue ou plans amateurs.
Propres - Solides - Rapides - Quillards ou dériveurs.

Rés. CRESPY 2, Bât. 11, Apt. 332 — 33400 TALENCE
Tél. (56) 80.77.62



Long.	11,35 m
Larg.	3,95 m
Quillard	1,50/1,80
Dériveur	1,00/2,20
Jauge	14 t
Catégorie	1re
Voile	110 m²
Moteur	35 Cv

Archit. : G.CAROFF

Bateau à la carte ACIER ou ALUMINIUM AG4. Réalisation de toute unité sur tout plan « Gage de sécurité notre société est » spécialisée en chaudronnerie depuis 1921

DUMANOIS

19, rue Desruelles
59160 LOMME - (20) 92.20.21

NOUVEAUTÉ... SINDBAD... NOUVEAUTÉ... SINDBAD... NOUVEAUTÉ... SINDBAD... NOUVEAUTÉ

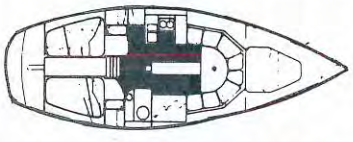
Construire un **vrai** voilier de voyage, dériveur intégral à deux dérives AG 4 MC pour moins de 300.000 F ?

C'est possible avec : **RATAFIA**

Un onze mètres à bouchains vifs.
Il bénéficie de toute l'expérience de notre série « FORME ».
Un produit au plus haut niveau technique actuel développé par et pour les finisseurs amateurs.

Quatre formules possibles :	**Budget coque**	**Budget total**
1) Construction totale à partir des plans	**80.000**	**247.950**
2) Construction totale par l'amateur au chantier	**110.000**	**267.300**
3) Finition à partir d'une coque non pontée	**135.000**	**284.350**
4) Finition à partir d'une coque nue pontée	**167.000**	**299.950**

PRIX JUIN 83





Sur plans **philippe harlé**

SINDBAD

Des bateaux forts
Des bateaux vifs
Des bateaux fidèles

SINDBAD

C'est aussi :

série « FORME »

ABAGAXI	14,50
MARACUJA	11,50
CARAMBOLA	10,50
GOYABADA	9,50

SINDBAD

BP 6 - 17220 Ste-SOULLE
Tél. (46) 37.00.96

GARCIA FRERES
CHANTIERS NAVALS
ZI 14110 CONDE-SUR-NOIREAU
Tél. (31) 69.03.92

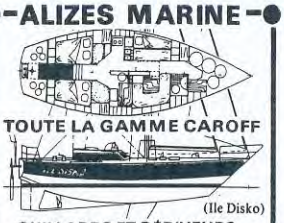


COQUES PONTEES ACIER
Q Keragan 10 m
Q Bieroc 11 m
Q Brefort 11,60 m
Q Esquina 12,30 m
Q Florès 13,40 m

COQUES PONTEES ALU
QR Sterne 10 m
QL Aubance 11,60 m
Q Brefort 12 m
QL Volnay 12,90 m
Q Florès 13,40 m
DI Geroboham 20 m

N'IMPROVISEZ PAS FAITES APPEL A DES SPECIALISTES

ALIZES MARINE



TOUTE LA GAMME CAROFF
(Ile Disko)
QUILLARDS ET DÉRIVEURS
ACIER ET ALU • DOUBLE
OU TRIPLE BOUCHAIN
8 m (8,20) CHATAM (10 m)
ALBION (10,50)
EXPLORATION (11,35)
ILE DISKO (11,98)
LEX (14,20) ET AUTRES
Livraison dans toute l'Europe
ALIZES MARINE
Rue de l'Ile Monsin
4020 LIEGE - BELGIQUE
Tél. Belg. : 041/64.96.03

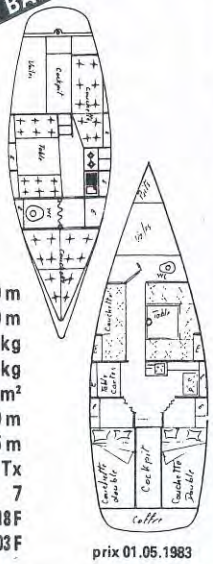
JNF 38
arch. JOUBERT-NIVELT
Coque nue, non pontée
Coque pontée
finie de chaudronnerie
Terrain à disposition
Assitance technique pour finition
Remorque de mise à l'eau gratuite
CNA CONSTRUCTION NAUTIQUE D'AQUITAINE
CAVERNES - 33450 ST-LOUBES

BI-LOUP 7 et 9 m



BIQUILLE
DE CROISIERE FAMILIALE
A TENDANCE SPORTIVE
Spacieux, conçu pour
une vie réelle à bord
« Polyester renforcé fibres de verre »

BATEAU A LA CARTE ET BARRE EN MAIN



s.a. WRIGHTON
Rue du Silo-Essars
Z.I. A — 62400 BETHUNE
Tél. (21) 57.13.51

Longueur H.T.	7,65	9,00 m
Bau maxi	2,50	3,00 m
Poids	1.400	2.800 kg
Lest	600	950 kg
Surface de voilure au près	31	43 m²
Tirant d'eau	0,75	0,90 m
Hauteur sous barrots	1,70	1,85 m
Jauge	5,10	7,16 Tx
Nombre de couchettes	5	7
Prix : coque pontée lestée	32.377,00 F	53.318 F
Prix : Barre en main	84.809,00 F	131.203 F

prix 01.05.1983

INOXYDABLE
de la proue à la poupe
PEGASE 38'

Ketch - Cotre en acier inox de haut de gamme et amagnétique (NF 28 CNDT 18-1200 ASI 316 TI) - Acier inoxydable au molybdène, stabilisé au titane - Coque entièrement soudée au gaz neutre sous argon - Découpages par procédé « plasma »

UN BATEAU POUR LA VIE

PEGASE 38 est le fruit de 2 ans d'études d'une équipe solide de techniciens spécialistes en inox et de marins plaisanciers. C'est un bateau conçu pour la croisière hauturière. Il est robuste, léger et d'entretien nul pour l'ensemble de la coque et des superstructures. Ses entrées d'eau fines (36°) son poids raisonnable, sa surface mouillée modérée en font un excellent marcheur, même par petit temps.

LIVRABLE A 3 STADES DE FINITION :

1 - Coque nue mais entièrement terminée de chaudronnerie.
2 - Bateau navigable sans aménagements intérieurs.
3 - Barre en main.

ARCHITECTES R. BERGOUNHON
J.C. THOMAS



Homologation 1re catégorie marine marchande

Long. hors-tout	12 m	Long. coque	11,50 m
Long. flottaison	9,88 m	Bau	3,60 m
Déplac. lège	7,05 t	Déplac. charge	8,4 t
Tirant d'eau	1,78 m	Lest plomb (total)	2,45 t
Coef. prismatique	0,499	Moteur Renault diesel	25 ch
Grand-voile	25,9 m²	Génois	43 m²
Trinquette	13,2 m²	Artimon	12 m²

Documentation :
COFFRAGES MODERNES — TOUR DE ROSNY 2
93118 ROSNY Cedex Tél. 854.60.46 - Télex 670 790

TECHNIQUE et CONSTRUCTION DES AMENAGEMENTS DES VOILIERS

Chapitre I
Introduction

Les grandes options esthétiques, relations entre les options esthétiques, techniques et financières 6

Chapitre II
Les matériaux de base

Le bois, savoir acheter le bois.
Les défauts rencontrés, les débits normalisés, le stockage et le séchage du bois 10
Le contre-plaqué.
Contre-plaqué marin et contre-plaqué du bâtiment, caractéristiques, panorama du marché actuel, les contre-plaqués spéciaux d'aménagement 15
Les colles à bois.
Les matériaux composites modernes, structure à nid d'abeilles 17
Quincaillerie marine 18

Chapitre III
L'outillage

L'outillage.
Les scies portatives, les scies sur table fixe, leur achat d'occasion 22
Les toupies, les défonceuses portatives, points à surveiller, précautions d'achat, le rabotage mécanique 22
L'entretien et la sécurité d'utilisation 22
Manuel.
Le plan de travail, organisation d'un coin atelier, les outils manuels, choix, utilisation, entretien, les techniques d'affûtage 26

Chapitre IV
Les cotes utiles à respecter dans les aménagements

La morphologie, l'encombrement des différentes positions et activités à bord, les objets usuels et cotes de rangements standardisés 35

Chapitre V
Les différentes techniques de base de montage

Spécificités dans les coques polyester, bois, ferro-ciment, acier et aluminium ; différentes méthodes de mise en œuvre 43

Chapitre VI
Les cloisons : les divers rôles, structurels, visuels et acoustiques

Les cloisons porteuses et non porteuses.
Différences de pose selon les matériaux de la coque 50
Traçage et repérage dans les coques en forme, et à bouchains vifs 52
Coupe et ajustage 54
Les moyens d'isolation phonique simples . 55
Méthodes de construction de doubles cloisons 57
Les ouvertures de cloisons.
Formes et cotes diverses, la garniture des chants en bois massif, lamellé, poignées de mains courantes intégrées, pose d'un placage sur chant 58
Les portes de communication.
Constructions simplifiées en contre-plaqué.
Portes encastrées et portes en applique ... 58
Encadrements en bois massif, les types d'assemblages à employer 66
Faire un assemblage par rainure et languette, à enfourchement, à tenon et mortaise, à la main ou à la machine, utilisation des différents outillages 68
Construction des panneaux de porte et diverses options possibles 68

Chapitre VII
Les planchers

La planéité d'un plancher, répartition et utilisation des différences de niveau.
Constructions types, planchers massif et contre-plaqué 79
Les panneaux amovibles et différents montages 81
Les supports de planchers et montages selon les coques 83
Les finitions des planchers et répartitions selon les zones d'emménagements 86

Chapitre VIII
Le carré

Les banquettes, couchettes et les tables.
A. **Conceptions et emplacement du carré, critères d'utilisation** 91
B. **Banquettes et couchettes.**
Gros œuvre en contre-plaqué, en cornières dans les coques métalliques, en construction classique 93
L'assemblage du dessus, lattes de bois, contre-plaqué, couchettes en toile 97
Couchettes amovibles, couchettes superposées 98
Les planches anti-roulis, conception et montages 99
Les toiles anti-roulis, conception et montages 100
Anti-roulis et couchettes doubles 102
C. **La sellerie.**
Impératifs du milieu marin, diverses conceptions, diverses techniques de confection des housses et finitions 103
D. **Les tables de carré.**
Fixes, en bois massif, préparation et assemblage d'un plateau de table en bois massif 107
Différents types de construction en massif.
Les abattants de tables, différents montages et systèmes de blocage 110
Les tables en contre-plaqué, particularités de conception, plusieurs exemples de réalisation 112
Les fargues, divers types, dispositions, fabrications et poses 116
Le bouchonnage ou tamponnage 118

Chapitre IX
Equipets et tiroirs

Les équipets en façades.
Réalisation à partir de contre-plaqué, évolutions de conception 120
Les portes en contre-plaqué, différentes conceptions, fabrications et finitions selon les choix esthétiques 120
Les façades d'équipets en bois massif.
Technique de fabrication traditionnelle ... 122
Les équipets en tolle.
Options esthétiques et pratiques 123
Agencements et montages particuliers 124
Techniques de fabrication des portes d'équipets en bois massif.
Assemblages à onglets et assemblages droits 125
Diverses façons de procéder 126
Divers styles et fabrications correspondantes 127
Panneaux pleins, panneaux aérés, cannages 129
Les étagères et petits équipets d'appoint.
Diverses réalisations 132
Etagères à bouquins 133
Etagères de bar, rangements de bouteilles et verres 134
Les tiroirs.
Divers modes de fabrication et assemblages 135
Les glissières, les butées 136
Les façades de tiroirs, encastrées, en applique 136
Marinisation de bases tiroirs en plastique . 137
Systèmes de blocages par la façade 137
Tiroirs simples et portes 137
Tiroirs-paniers 138

Chapitre X
Le coin navigation

Relations entre la conception du coin navigation et le type de navigation envisagé.
Les formats et l'orientation 139
Les rangements dans le coin navigation .. 140
Le stockage des cartes, diverses solutions et montages 142
Tables à cartes.
Amovibles ou escamotables, diverses conceptions stables et leur réalisation 143
Tables à cartes fixes.
Construction en bois massif, diverses méthodes possibles 146
Pupitres droits, pupitres inclinés 147
Différents assemblages utilisables 147
Le meuble de pied, constructions et assemblages selon la disposition du coin navigation 151
Tables à cartes en contre-plaqué, différentes mises en œuvre, conceptions et techniques possibles, les précautions à prendre 153
Les sièges de navigation.
Différentes conceptions et dispositions fixes, réalisations 157
Sièges amovibles, diverses solutions et réalisations 158

Chapitre XI
Les cuisines

Aspects pratiques d'utilisation, différentes dispositions, précautions et règles à observer.
Principes de construction 163
En contre-plaqué 163
En bois massif, constructions traditionnelles 165
Finitions des plans de travail.
Pose d'un carrelage, techniques de coupe 167
Pose d'un revêtement stratifié ou placage 169
Les planches à découper, différents montages, en applique, poses encastrées 170
Réalisation en bois debout 171
La poubelle dans le coin cuisine.
Divers types de réalisation 172
Porte-poubelles, poubelles à sacs, poubelles intégrées au plan de travail 173
Les éviers,
Différentes poses et fixations des éviers en inox 173
Les éviers en grès 173
Les équipets de cuisine.
Conceptions et réalisations de :
Rangements spéciaux, vaisselle et ustensiles divers 175
Egouttoirs à vaisselle 177
Le coin glacière.
Diverses formules de froid à bord 178
Installations dynamiques 180
L'isolation et les normes 181
Agencement du coin glacière ou frigo et finitions intérieures, différentes techniques.
Fermeture des portes, particularités et systèmes 182
L'emplacement du coin glacière à bord ... 185
La sécurité du coin cuisine.
Différents types de cuisinières, les suspensions, les serre-casseroles 187
La polémique gaz/pétrole, les installations 188
Les aérations 189
La législation 189

Chapitre XII
Les descentes

Les dispositions types et précautions utiles .. 190
Les cotes et proportions 191
L'antidérapant 192
La construction.
Descentes classiques en bois massif 192
Descentes inclinées 193
Constructions en contre-plaqué 194
Descente coffres 194
Différentes solutions de réalisation de marches relevées « anti-gîte » 195
Coffres moteur 197
Descentes décalées 198
Les marches escamotables 199
Les mains courantes dans la descente, emplacements 201
Différentes méthodes de réalisation des mains courantes 201

Chapitre XIII
Le coin toilette

Différentes conceptions du coin toilette et emplacements à bord 202
Ses différentes fonctions et utilisations 202
Coin toilette/coin humide 202
Notions d'espace et activités 202
W.-C.
Dispositions et volumes nécessaires, montages et agencements 203
Les différents types de W.-C. marins 205

Lavabo.
Dispositions et volumes nécessaires à son utilisation 206
Agencements amovibles, différents montages et fabrications simples et fiables en mer 207
Meuble-lavabo fixe 208
Fixation des différents types de lavabos encastrés 208
Spécificités des équipets et ouvertures du coin humide 209
Douche.
Dispositions et volumes d'utilisation 209
Divers systèmes de douche et installations simples 210
Installation sous pression 210
Chauffe-eau solaire simplifié 211
Douche de bord sans installation fixe 212
Caillebotis et planchers du coin toilette, systèmes de récupération des eaux 213
Construction simplifiée en contre-plaqué .. 214
Construction simplifiée en bois massif 215
Construction classique, diverses méthodes d'assemblage 216
Placard à cirés, conceptions diverses, agencement et encombrement 217
Particularités de construction et finitions .. 217
Aération et humidité 217

Chapitre XIV
Installations du bord et sécurité

A. **L'eau.**
Différentes solutions et réalisations des réservoirs.
Systèmes de contrôle de la consommation, jauges électriques, fabrication simple d'une jauge manuelle, branchements fractionnés isolables 219
Installation du circuit d'eau douce.
Circuit manuel simplifié 220
Circuit sous pression 221
Les pompes manuelles, pompes à pied, pompes électriques 221
L'eau de mer, les raccords, branchements, les vannes, les passe-coques 221
B. **Le gas-oil et autres carburants.**
Législation 223
Différentes réalisations des réservoirs 224
La tuyauterie, spécificité, installation 224
Remplissage, évents, alimentation moteur, les normes 225
C. **Sécurité incendie.**
Prévention dans la conception du compartiment moteur 225
Prévention dans le coin cuisine 226
Différents types d'extincteurs 226
Législation 226
Les points névralgiques 226
D. **L'assèchement.**
Législation 227
Différents types d'installations 227
Les précautions utiles 227
E. **Eclairage et électricité.**
Les diverses options d'éclairage à bord : pétrole, piles, circuit électrique 229
Les différents types de lampes à pétrole et leurs systèmes de fonctionnement, rendements et puissances d'éclairage, différenciation à l'achat 229
Eléments de base imagés des principes fondamentaux électriques 230
Le choix du voltage à bord (12, 24 volts) . 231
Installation électrique simplifiée 231
Détermination des grosseurs de fils à employer 232
Branchements et connections 230
Précautions à prendre en milieu marin ... 230
Conception d'un circuit électrique .....
Evaluation des différents postes électriques à monter, bilan estimatif de consommation 233
Détermination de la puissance à installer .. 233
Systèmes de contrôle et protection des circuits 234
Détermination des tailles de fusibles et disjoncteurs à installer selon les postes 234
Le tableau électrique 234
Le 220 V à bord 235
Législation 235
Lignes de quai 235
Installations fixes 235

Chapitre XV
Vaigrage et isolation

La double fonction du vaigrage.
Principes thermiques 236
Le vaigrage et les coques en bois, en polyester, les coques métalliques 236
Problèmes spécifiques 237
L'isolation phonique 237
La pose des vaigrages selon les différents types de coque 238
Vaigrages en contre-plaqué, vaigrages lattés, vaigrages ajourés 239
Techniques particulières dans les coques en forme et coques métalliques 240
Le vaigrage au plafond 242
Les faux barrotages.
Montages permettant de tricher sur la hauteur sous plafond 242
Particularités selon les structures des coques 242
Choix de la position des travaux d'isolation et de vaigrage parmi les différentes étapes des travaux d'aménagements intérieurs ... 243

Chapitre XVI
Les finitions

Principes fondamentaux de décoration.
Appréciation visuelle des volumes 246
Répartition des vaigrages 247
Tricheries visuelles sur les proportions ... 248
L'influence des couleurs sur la psychologie et le caractère 248
Répercussions sur la vie en mer et l'ambiance intérieure 248
Les tissus du bord.
Textures et compositions types utilisables .
Poses collées et tendues 249
Les autres revêtements muraux utilisables . 250
L'entretien des tissus 250
Les colles des différents travaux de finition .. 251
Les peintures à employer, et spécificités d'application 252
Les brosses et pinceaux, choix, utilisation, entretien 252
Le ponçage, ordre et exécution des différentes phases de ponçage 253
La protection des bois 254
Les finitions peintes.
Finitions mates 254
Finitions brillantes 254
Comment procéder pour réussir une laque impeccable 254
Les défauts de peintures et leurs palliatifs . 254
La teinte du bois 254
Réussir un vernis 254
L'habillage des épontilles.
Solutions simples d'isolation et camouflage. 255
Diverses options esthétiques 256
Différentes techniques de montage de coffrage en bois 257
Conclusion 259

274 pages, dos carré, couverture plastifiée carton, format 21 x 27, plus de 800 dessins. Un numéro indispensable à tous les plaisanciers modifiant, bricolant ou construisant leur bateau, enfin ce numéro s'adresse à tous ceux qui veulent en savoir plus sur la construction. Voir commande page 368.

ANTIDERAPANTS

TBS

EN ROULEAUX OU EN PLAQUES A COLLER, EN BANDES OU EN PLAQUES AUTOADHESIVES,

ANTIDERAPANT NON SLIP — NON ABRASIF NON ABRASIVE — ABSORBANT AUX CHOCS SHOCK ABSORBER — RÉSISTANT AUX INTEMPÉRIES WEATHER RESISTANT — FACILE A POSER EAST TO APPLY

EXISTE EN 7 COLORIS ATTRAYANTS ET STABLES
PRIX TRES COMPETITIFS
LARGE GAMME D'UTILISATION :
PONTS, COCKPITS, PLANCHERS, PANNEAUX DE PONTS, NEZ DE MARCHE, FONDS DE CANOTS, PLANCHES A VOILE, WISHBONES, ETC.

Le **TBS** est maintenant disponible sur toute la France
FABRICANT :
ERAM INDUSTRIE
Avenue du 8 Mai - BP 68
49290 CHALONNES-SUR-LOIRE
Tél. (41) 78-11-43 – Télex 721395 F

Des milliers de milles parcourus
PLANS AMATEURS homog. 1re cat.
Plus de 30 unités différentes qui naviguent. Assistance-Coques-Kits
ACIER : **ATOLL 10,10** dériveur Q.
ALIX 1200, ATCH 10,70, dériveur
ACHIL 1300 Ketch, etc.
ALU 10,30, ATCH Alu 10,70
FERRO-CIMENT :
AS 10,50, ARMEN 1100
BOIS MOULE :
AUBOIS 10,50, ARMINEL 1100
ANAÏS 12,50, ATHENA 15,50
NOUVEAU :
ATOU 1000 en alu de 10 m,
ASTROLABE 1100 dériveur intégral,
plus de 70.000 F d'économie/10 m

D. PROVIN, ingénieur-architecte
Le Palastre en Plescop
56000 VANNES - T. (97) 57.68.74

ETRE BIEN....



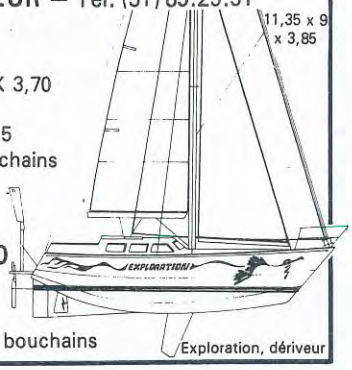
GERARD DUGARDIN
16 rue de Lourmel Paris XV
577 08 49

EVOA 640	CP	plans + ch. prof.
EVOA 965	CP	" "
DUG 900	AL	prof. ts stades
GÉDÉ 760	AL	" "
GÉDÉ 1200	AL	" "
CRAZYCAT 8	AL	" "

CHANTIER **ENAULT P. et J.**

Z. I. D. - **14600 HONFLEUR** – Tél. (31) 89.25.51

GAMME CAROFF :
BULLE DE SOLEIL, 10,50 X 9 X 3,70
ALBION, 10,45 X 8,20 X 3,70
ILE DISCO : 11,98 X 9,50 X 4,15
Coque acier, double et triple bouchains
AUTRE PRODUCTION DE
Noël CARRERE et
Philippe SUBRERO
Acier - Alu
Les NIVOSES 35 et 38
et les PETITS PRINCES à triple bouchains



Exploration, dériveur

EMDP



Unités 10 à 60 m
C.V.R. ou métal
Voile ou moteur
Plaisance ou service
Optimisation selon normes B.V.
Moules vedettes rapides
7,60 m - 17,60 m - Vente ou location

TECIMAR

21/23, rue Lalande – **75014 PARIS**
Tél. 321.29.36 - 320-62-42

UN CHANTIER D'EXPERIENCE

Procédé nouveau ALU
: SANDWICH : ALU + BOIS + MOUSSE
Coques sans déformations
Meilleure isolation thermique et phonique
Finition plus soignée
Meilleure robustesse
Kits plus faciles et sans surprises
Constructions à l'unité, en série :
MOPELIA 2000, BELOUGA IOR, RANDONNEUR
CHANTIER DU PORT, rue du Port, Trentemoult
44400 REZE **Tél. (40) 75.41.69**

ABONNEMENT

TARIF VALABLE jusqu'à novembre 83, ensuite prière de demander nos conditions d'abonnements des mensuels et des hors-série

LOISIRS NAUTIQUES
71, rue Amédée St-Germain
33800 BORDEAUX - FRANCE
Tél. (56) 91.10.40
(56) 91.11.02

1 ABONNEMENT MENSUEL

	FRANCE	ETRANGER
1 AN (12 mensuels)	160 F	210 F
2 ANS (24 mensuels)	300 F	390 F
3 ANS (36 mensuels)	440 F	580 F

2 ABONNEMENT SPECIAL

(MENSUEL + N° HORS SERIE)	FRANCE	ETRANGER
1 AN (12 mensuels) + 2 hors série consécutifs à paraître pendant la durée de l'abonnement	280 F	390 F
2 ANS (24 mensuels) + 4 hors série consécutifs à paraître pendant la durée de l'abonnement	520 F	710 F

ABONNEMENT SPECIAL : Il s'agit de hors-série à paraître. HORS-SERIE N° 17 et suite. Les abonnements ne comprennent pas les numéros déjà parus. Un N° hors-série par abonnement 2 ans coûte 55 F port compris (France).

1 ■ **Cochez les cases correspondantes S.V.P.**
Je m'abonne au mensuel 1 AN ☐ 2 ANS ☐ 3 ANS ☐
à partir de votre prochain numéro

2 ■ **Je soucris à l'abonnement spécial mensuel + hors-série à paraître) 1 AN ☐ 2 ANS ☐**
et ceci à partir de votre prochain numero

☐ FRANCE ☐ ETRANGER

Je vous adresse la somme totale de ..... F

Par chèque bancaire ☐ chèque postal ☐ mandat ☐
Mandat international ☐ Virement de banque ☐ à l'ordre de

LOISIRS NAUTIQUES MAGAZINE

NOM .....

Prénom ..... **Profession** .....

Adresse .....

.....

Ville ..... **Code postal** .....

Pays .....

..... **le** **1983**

Ces renseignements sont confidentiels

- **Constructeur amateur partiel** ☐
- **Constructeur amateur total** ☐
- **Propriétaire d'un bateau** ☐
- **Sans bateau** ☐
- **Voile** ☐ **Motonautisme** ☐
- **Adhérent d'une association** ☐

Signature

LOISIRS NAUTIQUES HS 16

LES HORS SERIE

LOISIRS NAUTIQUES

une véritable encyclopédie de l'architecture et de la construction navales de plaisance

N° 1 **Connaissance de L'ARCHITECTURE ET DE LA CONSTRUCTION NAVALES**

Cette édition spéciale réunit les principales questions que vous vous posez sur l'architecture et la construction navales de plaisance.

N° 2 **LES EMMENAGEMENTS DES VOILIERS Conception, Réalisation** *(numéro épuisé).*

N° 3 **Architecture et construction navales KIT et COQUE NUE**

Une édition spéciale indispensable à tous ceux qui s'intéressent au marché de la coque nue et du kit.

N° 4 **Connaissance de la CONSTRUCTION MODERNE DES BATEAUX EN BOIS,** bois moulé, contre-plaqué, classique.

Une édition indispensable à tous ceux qui s'intéressent à la construction de plaisance en bois. (Cette édition comprend plus de 600 illustrations, photos et dessins) destinée aux constructeurs amateurs de bateaux de plaisance en contre-plaqué, bois moulé et classique.

N° 5 **ENTRETIEN ET REPARATION DE VOTRE BATEAU**

Un numéro indispensable à tous ceux qui veulent entretenir et réparer eux-mêmes leur bateau.

N°6 N°7 COMMENT CONSTRUIRE ET ARMER UN YACHT DE GRAND VAGABONDAGE OCEANIQUE

N° 6 : Cahier de charges d'un SHPOUNTZ 44/40 pouvant éventuellement servir de manuel général de construction navale, du tracé à la construction coque, pont dans l'ordre chronologique. 290 pages dont 16 pages couleurs.
Le numéro 7 de 290 pages est consacré aux aménagements intérieurs, à la voilure, au gréement, l'accastillage bois et métallique, lancement à l'eau et essai d'un voilier. Les deux numéros sont indissociables.
Pour constructeur amateur et professionnel de bateaux de caractère en bois moulé.

N°8 Connaissance du TRACE des CARENES

Loisirs Nautiques fait découvrir la science objective de l'architecture navale. Particulièrement axé sur le tracé d'un plan de forme, il présente également une science nouvelle : la conception d'une carène de bateau par une calculatrice de poche.
Un numéro très musclé, indispensable à tous les amateurs d'architecture.

N°9 Connaissance du PILOTE AUTOMATIQUE (électronique - électrique) Construction amateur - Professionnelle

Dans ce numéro, l'auteur fournit tous les éléments à la construction d'un régulateur d'allure électrique et électronique de sa fabrication, transformable ultérieurement en pilote automatique. La 2e partie est consacrée aux principes de fonctionnement des régulateurs professionnels : un numéro indispensable dans votre bibliothèque.
3e partie : construction amateur d'un pilote automatique.

N°10 LA CONSTRUCTION POLYESTER DANS LA PLAISANCE Amateur et professionnelle

BIEN CONNAITRE CE QUE L'ON ACHETE OU CE QUE L'ON CONSTRUIT. Ce numéro de 290 pages réunit tous les éléments de la construction polyester, matériaux, structure, échantillonnage, stratification, les outils, la construction professionnelle, les modifications des bateaux polyester, l'entretien de la coque, la plastification. Un numéro très musclé indispensable aux constructeurs amateurs, aux professionnels et tous les plaisanciers et futurs plaisanciers.

N°11 Historique – Théorie et pratique de l'architecture et de la construction navales LEST – DERIVE – GOUVERNAIL

Les constructeurs individuels et professionnels ne sont pas déçus par l'accent mis sur le côté pratique de cet ouvrage consacré au lest, dérives et gouvernails.

N°12 CONSTRUIRE ET PARTIR

Comment avec de petits moyens financiers et une quasi inexpérience de la construction, de la haute mer et de la navigation, le rêve d'éternelles vacances autour du monde est-il accessible ? Un Hors-Série captivant et plein d'idées indispensable à tous. Ceux qui rêvent de « partir » un mois, un an ou toujours.

N°13 Connaissance théorique et pratique des MOTEURS MARINS et tout ce qui touche à la propulsion mécanique des bateaux de plaisance

Choix de propulsion, calcul d'hélice, marinisation, réalisation des berceaux et des réservoirs, description des groupes de propulsion, alignement moteur, etc. Un numéro très musclé.
Un ouvrage destiné à tous les plaisanciers et les constructeurs amateurs.

N°14 TECHNIQUE ET CONSTRUCTION DES AMENAGEMENTS DES VOILIERS

Un numéro indispensable à tous les plaisanciers modifiant, bricolant ou contruisant leur bateau, enfin ce numéro s'adresse à tous ceux qui veulent en savoir plus sur la construction des aménagements intérieurs. Un numéro très musclé. Plus de 800 dessins d'illustration.

N°15 TOUT SUR LE PONT

Comment équiper soi-même son bateau : mâts et espars, gréements, équipements de pont, mouillage. C'est au plan de pont que nous nous attaquons cette fois, vous y trouverez tout ce qui dépasse du pont du bateau, sauf les voiles qui feront l'objet d'un autre H.S., de plus nous expliquons, pour les bricoleurs, comment réaliser certaines pièces. Un numéro indispensable à tous les plaisanciers et les constructeurs amateurs bien entendu.

BULLETIN – COMMANDE HORS – SERIE

Format 21 x 27 · Dos carré - Couverture carton plastifié - Des hors-série dignes de votre bibliothèque.

Port et emballage compris expédition normale et par bateau **(par avion frais de port en sus) Voir poids ci-dessus avec emballage carton AJOUTEZ LES FRAIS AVION**

Je commande (nombre de numéros) cochez les cases correspondantes d'une croix

Inscrire S.V.P le nombre de numéros

		FRANCE	ETRANGER
N° 1 Connaissance de l'architecture et de la construction navales, 330 pages (Technique), poids 1,150 kg	N° 1 ☐	100 F	115 F
N° 3 Architecture et construction navales : Kit et coque nue, 200 pages (Technique), poids 520 g	N° 3 ☐	91 F	106 F
N° 4 Connaissance de la construction moderne des bateaux en bois, 290 pages (Technique), poids 700 g	N° 4 ☐	82 F	97 F
N° 5 L'entretien et la réparation de votre bateau, (Bois moulé - Contreplaqué - Classique) 290 pages (Technique), poids 770 g	N° 5 ☐	72 F	86 F
N° 6 Comment construire et armer un yacht de grand vagabondage océanique, 290 p. (Technique), 720 g	N° 6 ☐	75 F	90 F
N° 7 Comment construire et armer un yacht de grand vagabondage océanique, 290 p. (Technique), 650 g	N° 7 ☐	80 F	95 F
N° 8 Connaissance du tracé des carènes (bateau à voile et à moteur), 298 pages (Technique), poids 710 g	N° 8 ☐	95 F	109 F
N° 9 Connaissance du pilote automatique (électronique-électrique), 206 pages (Technique), poids 520 g	N° 9 ☐	72 F	89 F
N° 10 Le polyester et la plaisance (amateur-professionnelle), 290 pages (Technique), poids 700 g	N° 10 ☐	93 F	108 F
N° 11 Lest - Dérive - Gouvernail, 130 pages (Technique), poids 450 g	N° 11 ☐	71 F	86 F
N° 12 Construire et partir, 186 pages (Technique grande croisière), poids 630 g	N° 12 ☐	79 F	94 F
N° 13 Connaissance moteurs marins et tout ce qui touche à la propulsion mécanique, 290 pages, poids 810 g	N° 13 ☐	95 F	110 F
N° 14 Technique et construction des aménagements intérieurs, 274 pages, poids 800 g	N° 14 ☐	105 F	120 F
N° 15 Tout sur le pont : Comment équiper soi-même son voilier (technique), 320 p., (1er janvier 83), 950g	N° 15 ☐	125 F	140 F
N° 16 Connaissance de la construction des bateau de plaisance alu - acier - inox (Technique) 1.064 g	N° 16 ☐ Voir nota	129 F	150 F
• Total de la commande			
• Je suis abonné et je bénéficie de la remise de 12 %)			
(Aucune remise sur frais avion			
• Reste à régler			

ECRIRE EN CAPITALES et LISIBLEMENT. (MERCI. LE SERVICE ABONNEMENT VOUS EN SERA VIVEMENT RECONNAISSANT)

Nom .....

Prénom ..... **Profession** .....

Adresse .....

.....

Ville ..... **Code postal** .....

Pays .....

Date, le 1983

Signature

LOISIRS NAUTIQUES HS 16

Je règle ma commande ci-dessus

par chèque bancaire ☐ **chèque postal** ☐ **mandat postal** ☐
mandat international ☐ **ou par banque** ☐ **à l'ordre de...**

Loisirs Nautiques, 71, rue Amédée St-Germain, 33800 Bordeaux (France)

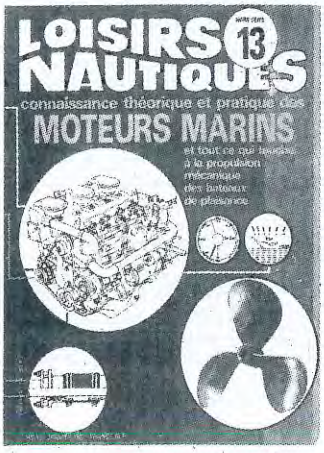
AUCUNE EXPEDITION CONTRE REMBOURSEMENT.

Les commandes sans règlement ne sont pas prises en compte.

CONNAISSANCE DES MOTEURS MARINS

Hors série 13

et tout ce qui touche à la propulsion mécanique des bateaux de plaisance



CE numéro Hors-Série de Loisirs Nautiques est en fait le premier ouvrage complet qui rassemble tout ce que les plaisanciers, constructeurs amateurs et architectes peuvent souhaiter connaître sur la propulsion par moteur des bateaux de plaisance, qu'il s'agisse de vedettes rapides, de barques ou de voiliers. L'accent général a été porté sur deux points : d'une part sur l'aspect « rendement » (économies d'énergies) et d'autre part sur le côté « vulgarisation », mais vulgarisation poussée, par l'intention des constructeurs amateurs.

Un dernier mot pour dire que ce numéro hors-série, s'il est destiné d'abord aux marins, sera d'une très grande utilité pour tout possesseur d'engin à moteur, auto, moto, bateau, etc.

INTRODUCTION

Chapitre I : LE MOTEUR
Généralités

- **1. Théorie du moteur thermique**
  - 1.1. Cycles thermodynamiques
    - a) Cycle à 2 temps
    - b) Cycle à 4 temps
  - 1.2. Le moteur à pistons
    - a) Principe du moteur à 2 temps
      - – essence
      - – diesel
    - b) Principe du moteur à 4 temps
      - – essence
      - – diesel
  - 1.3. Les autres types de moteurs
- **2. Etude du moteur à pistons**
  - 2.1. Description générale
  - 2.2. La combustion
    - a) Admission
    - b) Compression
    - c) Combustion - Considérations générales
    - d) Combustion dans les moteurs à essence
    - e) Combustion dans les diesels
    - f) Echappement
  - 2.3. La distribution
  - 2.4. L'équipe mobile
    - a) Le piston et les segments
    - b) L'axe du piston
    - c) La bielle
    - d) Le vilebrequin
    - e) Les coussinets
  - 2.5. Le graissage
  - 2.6. Le refroidissement
    - a) Problème général du refroidissement
    - b) Refroidissement des organes principaux
    - c) Refroidissement à eau
    - d) Refroidissement à air
    - e) Les échangeurs
    - f) Les circuits de refroidissement
  - 2.7. L'alimentation
    - a) Les organes primaires : réservoir, flexibles, filtres, pompes
    - b) Le carburateur
    - c) L'injection
    - d) La suralimentation
  - 2.8. L'allumage
    - a) Ordre d'allumage
    - b) L'allumage classique à bobine et rupteur
    - c) L'allumage électronique
    - d) L'allumage par magnéto
  - 2.9. Les accessoires électriques
    - a) Le démarreur
    - b) La dynamo et son régulateur
    - c) L'alternateur et son régulateur
    - d) Remarques sur les machines électriques tournantes
    - e) La batterie
  - 2.10. Les instruments
    - a) Compte-tours
    - b) Indicateurs de pression
    - c) Indicateurs de température
    - d) Indicateurs de charge
    - e) Alarme
    - f) Horamètre
    - g) Constitution d'un tableau de bord
  - 2.11. L'intégration d'un moteur
    - a) Accouplement
    - b) Les vibrations
    - c) Les interfaces
  - 2.12. Performances - Caractéristiques de fonctionnement
  - 2.13. Comparaison de moteurs

Chapitre 2 : LE MOTEUR MARIN
Généralités
Les matériaux et la corrosion marine
La réglementation

- **1. Le moteur hors-bord**
  - 1.1. L'adaptation à l'environnement
  - 1.2. Architecture et fonctionnement
    - a) Architecture générale
    - b) Le moteur
    - c) La partie propulsive
    - d) L'hélice
  - 1.4. Montage
    - a) Sur tableau
    - b) En puits
    - c) Sur chaise
    - d) En double
    - e) Réglage
  - 1.5. Utilisation
  - 1.6. Choix d'un moteur
- **2. Le moteur in-bord**
  - 2.1. Le groupe moteur
    - a) Le refroidissement
    - b) L'échappement
    - c) Le réducteur
  - 2.2. Le montage avec ligne d'arbre classique
    - a) L'accouplement
    - b) L'arbre d'hélice et le tube d'étambot
    - c) Les paliers
    - d) Le presse-étoupe
  - 2.3. Les groupes propulseurs
    - a) Le "Z-drive"
    - b) Le "Sail-drive"
    - c) L'hydrojet
  - 2.4. La transmission hydraulique
  - 2.5. Les commandes et raccordements
    - a) Direction
    - b) Accélérateur et inversion de marche
    - c) Instruments et commandes diverses
    - d) L'arrivée d'essence
  - 2.5. Règles et conseils pratiques d'installation à bord
    - a) Règles générales
    - b) Le berceau moteur
    - c) Montage sur silent-blocs
    - d) Alignement moteur-arbre d'hélice
    - e) Ventilation
    - f) Insonorisation
    - g) Instruments et commandes
    - h) Les réservoirs à combustible
- **3. Etude de la propulsion**
  - 3.1. Résistance à l'avancement
    - a) Résistance de frottement
    - b) Résistance de remous
    - c) Résistance de vague
    - d) Résistance totale
  - 3.2. Propulsion mécanique des bateaux
    - a) Notion d'efficacité propulsive
    - b) Détermination de la puissance de motorisation d'un bateau
      - – Rendement propulsif global
      - – Coques à déplacement
      - – Coques planantes ou semi-planantes
- **4. Les hélices**
  - 4.1. Géométrie des hélices
  - 4.2. Fonctionnement d'une hélice en eau libre
    - a) Principe de fonctionnement
    - b) La cavitation
  - 4.3. Calcul et détermination d'une hélice
    - a) Calcul du diamètre et du pas
    - b) Choix des paramètres secondaires
  - 4.4. Règles d'installation
    - a) Dimensions de la cage
    - b) Hélice desaxée
    - c) Montage en double
  - 4.5. Hélices spéciales
    - a) "Bec de canard"
    - b) A pales orientables
    - c) Hélices carénées
    - d) Hélices supercavitantes
- **5. Le choix**
  - 5.1. Choix des caractéristiques propulsives
  - 5.2. Cahier des charges du propulseur
  - 5.3. Le choix de la marque
- **6. Marinisation des moteurs terrestres**
  - 6.1. Avertissement
  - 6.2. Choix du moteur
  - 6.3. Diagnostic et remise en état du moteur
  - 6.4. La marinisation proprement dite
    - a) La pompe à eau de mer
    - b) L'échangeur
    - c) L'échappement
    - d) Le réducteur
    - e) Les accessoires
- **7. Quelques exemples d'installations**

Chapitre 3 : L'ENTRETIEN

- **1. Mise en service**
  - 1.1. Pleins et purges
  - 1.2. Circuit de combustible
  - 1.3. Contrôle avant démarrage
  - 1.4. Démarrage du moteur et contrôles après démarrage
- **2. Le rodage**
  - 2.1. Précautions
  - 2.2. Régime de rodage
  - 2.3. Révision des 20 heures
    - b) Réparation pompe à eau de mer
    - c) Nettoyage des échangeurs
  - 5.9. Pièces de rechange à emporter
- **6. Dépannage**
  - 6.1. Considérations générales sur les pannes
  - 6.2. Refus de démarrage
  - 6.3. Anomalies en cours de fonctionnement
    - a) Irrégularités de marche
    - b) Paramètres de fonctionnement hors limites
    - c) Calage intempestif
    - d) Les petits bruits
    - e) Les fuites

Chapitre 4 : CARNET

- **1. Liste des fabricants, fournisseurs, importateurs**
- **2. Stations-service des principaux ports**
- **3. Caractéristiques techniques**
  - 3.1. Moteurs hors-bord
  - 3.2. Moteurs in-bord
    - a) A essence
    - b) Diesel
  - 3.3. Groupes propulsifs
    - a) Z drive
    - b) S drive
    - c) Hydrojets
- **4. Tableau de conversion d'unités**
  - a) Opérations sur culasse
  - b) Vidanges
  - c) Réglages
- **5. Service normal**
  - 3.1. Mise en route du moteur
  - 3.2. Opérations systématiques
- **4. Hivernage**
  - 4.1. Vidanges et purges
  - 4.2. Nettoyage
  - 4.3. Circuit de combustible
    - a) Essence
    - b) Diesel
  - 4.4. Protections et divers
  - 4.5. Remise en service
- **5. Entretien et réparations**
  - 5.1. Outillage de base
  - 5.2. Précautions
  - 5.3. Réglage de la tension des courroies
  - 5.4. Allumage
    - a) Vérification du fonctionnement des bougies
    - b) Réglage des vis platinées
    - c) Calage de l'allumeur
  - 5.5. Carburation
    - a) Réglage du ralenti
    - b) Réglage de la richesse
    - c) Entretien du carburateur
  - 5.6. Injection
    - a) Vérification du fonctionnement des injecteurs
    - b) Calage de la pompe à injection
    - c) Réglages divers de pompe
  - 5.7. Accessoires électriques
    - a) Vérification de la dynamo
    - b) Vérification de l'alternateur
    - c) Vérification démarreur et batterie
  - 5.8. Accessoires divers
    - a) Réparation pompe à carburant

Bon de commande page 369 de ce numéro

ALUMINIUM.....

La lecture d'un ouvrage de référence est une bonne chose.
Le recours à l'expérience des pratiquants en est le complément.
La pratique du matériau aluminium nous en savons quelque chose : nous "dessinons pour "depuis 18 ans.
Et depuis 18 ans nous suivons la construction de bateaux en alliages légers et nous suivons ce qu'ils deviennent à travers les vicissitudes de l'existence.
L'expérience acquise sur les chantiers, l'expérience acquise en bottes sur les grills et cales de carénage, l'expérience acquise en vivant dans l'aluminium complètent le travail à la planche à dessin ou à l'ordinateur.
Si nos bureaux font face à l'aire de service du plus grand port d'Europe ce n'est pas le résultat d'un hasard. C'est parce que le concret ne nous effraie pas ; mieux même nous attire car il est riche en enseignements. Plaies et bosses ; acnès légères ou mauvaises maladies, belles ou vilaines constructions, nous en avons vu sur tous les matériaux.
Eh bien, pour ne rien cacher nous dirons que l'aluminium nous pose à ce jour une question angoissante: "combien de temps durera-t-il ?"
Nous n'en voyons pas le terme.
Le suivi de nos premiers bateaux en AG4 montre que, après 18 ans de dur labeur, cent vingt mille milles ça ne semble pas près de lacher...
Qui dit mieux ?
Si vous êtes intéressés par ce matériau nous sommes à votre disposition pour vous aider à en tirer le meilleur et à en éviter le pire.

philippe harlé ARCHITECTE NAVAL
Avenue des Minimes - 17000 LA ROCHELLE - France Tél.:(46)44-48-22

