Techniques de construction en contreplaqué

gis de hammeau desante acajou

doublante CPM 100x!

CP SUR OSSATURE BOIS • CP/ÉPOXY • CP COUSU/COLLÉ



# Sommaire

2
4
9
15
19
35
55
73
77
81
95
103
107
113
117

# A paraître

- LE STRIP-PLANKING
- · LE BOIS MOULÉ
- LE BOIS TRADITIONNEL

## NTRODUCTION

onstruction "classique" en contreplaqué, construction en "contreplaqué époxy", construction "cousu collé", appartiennent à la grande famille de la construction navale en bois collé. Ces techniques n'ont en commun que l'aspect extérieur des unités qu'elles produisent – des bateaux à bouchains – et l'utilisation d'un même matériau pour l'enveloppe – le contreplaqué –. Pour le reste nous serions tentés de dire que tout les oppose, tant du point de vue de leurs principes constructifs, que de leurs principes structurels, au stade de la coque cloisonnée en tout cas.

La construction "classique" en contreplaqué - entendez "construction CP sur ossature bois" - s'apparente d'avantage à une construction en "bois moulé sur lisses" qu'à une construction CP époxy ou cousu collé tant pour la mise en œuvre de la charpente interne que d'un point de vue structurel. Pour les unités réalisées suivant ces techniques, leur résistance mécanique est assurée par la présence de renforts longitudinaux en bois ployé collé au bordé, destinés à augmenter l'inertie du bordé. Ces renforts permettent de réduire l'épaisseur des peaux en contreplaqué.

L'intérêt de la formule est de donner une construction particulièrement légère pour une solidité et rigidité donnée, et dans l'optique d'une construction amateur, d'abaisser le coût de la matière première, car le bois brut est moins cher que le contreplaqué technique qui est utilisé par certains.

L'inconvénient majeur reste une mise en œuvre réclamant du soin, une conception sans faille, et dans une optique professionnelle, un temps de réalisation certainement plus important qu'avec d'autres techniques, où l'emploi d'une main d'œuvre expérimentée et, à juste titre, bien rémunérée, grève le coût de la mise en œuvre.

Ce coût, qu'accentue encore une production professionnelle marginale ne permettant pas de systématiser la fabrication, limite considérablement à l'heure actuelle la diffusion d'unités mises en œuvre suivant ces techniques. Ces réalisations sont maintenant le fait de constructeurs artisanaux produisant quasiment à l'unité pour une clientèle de connaisseurs sachant apprécier les qualités et la longévité de ce type d'unités, et qui recherchent un rapport qualité/prix élevé. Le prix de vente de ce type d'unité barre en main est parfois de 50% supérieur à un voilier de série de taille équivalente. Cette disparité à taille égale n'est pas limitée à la construction navale : on va trouver le même phénomène dans le bâtiment ou dans l'industrie automobile. Il faut savoir ce que l'on veut.

Le seul débouché possible pour ce type de réalisation reste la construction amateur, totale ou partielle, à partir de kits ou de coques nues ou pontées. Elle s'adresse à des gens informés pour qui le bateau est autre chose qu'un produit de grande consommation, et ayant l'amour du travail bien fait. Souvent la motivation première est l'économie substantielle réalisée puisque l'on économise généralement les deux tiers du coût, constitués par la main d'œuvre d'une réalisation professionnelle, mais c'est avant tout le plaisir que procurent le travail du bois et le sentiment de se réaliser en se dépassant soi-même qui animent ces amoureux du bel ouvrage.

Une construction contreplaqué époxy ou en cousu collé sera sur ces plans plus proche d'une construction en stratifié monolithique ou en Strip planking, avec un agencement structurel rapporté après fabrication de la coque et un mode de liaison à base d'éléments stratifiés. Durant les années 60-70, avant que la résine époxy soit largement diffusée, les constructeurs avaient imaginé de lier les bordés en C.P. à l'aide de fibres de verre et de résine polyester. Mais le faible accrochage de cette résine sur le bois, le mauvais vieillissement de ces liaisons avaient anéanti les espoirs de cette méthode de construction sur les moyennes et les grosses unités.

Ce type d'assemblage est repris aujourd'hui avec succès grâce aux progrès réalisés dans l'élaboration et la mise en œuvre des résines époxydes, sous l'impulsion notamment des frères Gougeon aux USA, qui ont commercialisé une gamme de résines époxydes sous le nom de "West System". Depuis la fin des années 70, les résines époxydes adaptées à la construction en bois ne cessent de s'améliorer et permettent de simplifier et modifier les méthodes de construction navale.

Malgré tout, cette méthode demande autant de soin que la construction CP sur ossature bois, notamment dans la réalisation des gabarits. De même, le constructeur amateur y trouvera autant de plaisir dans la réalisation de son bateau même si les techniques employées sont moins "traditionnelles"...

Il nous a semblé intéressant de confronter ces différents types de construction dans un même ouvrage, sans esprit de polémique, avec pour seule prétention de vous les faire mieux connaître afin de découvrir la diversité des possibilités offertes par un matériau éminemment performant – le contreplaqué – et qui reste d'actualité du fait de son coût et de sa relative facilité de mise en œuvre.

Le travail a été réparti de la façon suivante : Jean-Pierre Villenave, architecte naval, a traité tout ce qui concernait la construction CP sur structure bois en une approche synthétique puisque déjà étudié en détail dans le hors série n°27 de Loisirs Nautiques, ouvrage de référence pour ce type de réalisation, et Jacques Legrand, professeur en lycée professionnel, a développé les techniques spécifiques au CP épaxy et au cousu-collé.



oublante de noimh

acajou 35×25-

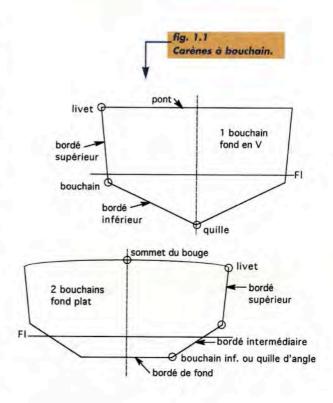
## **LES FORMES**

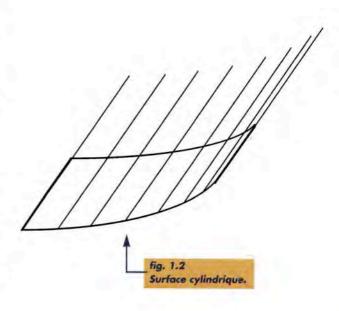
Les unités construites en contreplaqué présentent des brisures entre les différents panneaux de bordés appelées "bouchains vifs" (fig. 1-1). Ces formes caractéristiques sont liées à l'emploi d'un matériau en feuille rigide. Si vous roulez une feuille de papier entre vos doigts, vous obtiendrez facilement une portion de cône ou de cylindre, jamais une portion de sphère. Les carènes des bateaux en contreplaqué imposent donc le tracé de formes dites "développables" (voir semi-développables dans certaines conditions que nous verrons plus loin). Formes développables, comme son nom l'indique, signifie pouvant être développées, c'est-à-dire remises à plat. Ces formes répondent donc à quelques règles mathématiques précises, la première étant d'être générées par des droites, "les génératrices". Il sera toujours possible de faire passer une surface développable par deux courbes quelconques dans l'espace matérialisant deux bouchains consécutifs. La seule difficulté consiste à déterminer l'implantation des génératrices rectilignes définissant cette surface pour pouvoir établir les cotes des sections transversales de construction nécessaires à la mise en œuvre : ces génératrices sont disposées dans le plan des sections considérées, auquel cas les deux bouchains sont reliés par un segment de droite, ou bien elles ont une orientation oblique par rapport au plan des sections qui présentent donc des tracés courbes entre les bouchains, "rond" dont il faudra pouvoir fournir les cotes au constructeur. Nombreux sont les professionnels qui jugent le tracé des surfaces développables contraignantes et peu maîtrisables, si ce n'est par l'acquisition et l'utilisation de logiciels informatiques conçus par d'autres. En fait, si les règles, quelles qu'elles soient, paraissent toujours contraignantes, leur connaissance permet à l'inverse une exploitation plus rationnelle du matériau, et leur maîtrise la découverte de possibilités offrant une grande liberté de création.

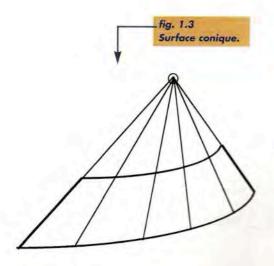
Pour qu'une coque soit effectivement "bordable" en contreplaqué, on peut concevoir trois catégories de formes : les surfaces cylindriques, les surfaces coniques et les surfaces réglées semi-développées.

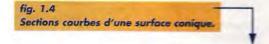
#### SURFACES CYLINDRIQUES

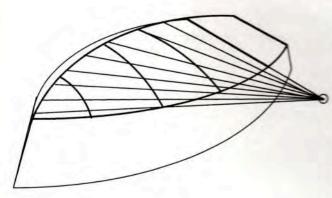
Ces surfaces réglées sont définies à partir de génératrices droites, toutes parallèles, s'appuyant sur une courbe de référence (fig. 1-2). Si l'on opte pour des génératrices contenues dans une succession de plans verticaux, cela se traduira pour la carène par des sections transversales rectilignes et parallèles. La courbe de référence peut être un bouchain, le livet, la quille, une ligne d'eau (par exemple la flottaison) au une diagonale. Un exemple caractéristique de l'utilisation de telles surfaces est le bordé de fond d'une unité dite "à fond plat".

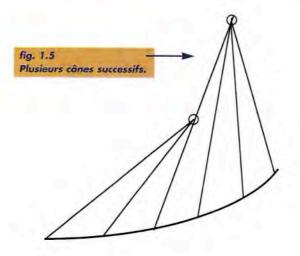












#### SURFACES CONIQUES

Ces surfaces réglées sont définies à partir de génératrices concourantes en un point appelé pôle ou foyer, qui constitue le sommet du cône (fig. 1-3). Une seule des génératrices pourra être contenue dans un plan vertical. Par conséquent, hormis pour celle ci, les sections transversales de la carène seront courbes (fig. 1-4).

L'intérêt de ce type de surface réside dans la possibilité de faire évoluer rapidement l'inclinaison d'un bordé, par exemple d'une orientation verticale à l'horizontale.

Un bordé peut être généré par la succession de plusieurs cônes. La continuité des surfaces est soumise à deux conditions : la continuité de la courbe de référence (sur laquelle s'appuient les génératrices), et une génératrice commune aux cônes successifs correspondant à la droite reliant les deux pôles (fig. 1-5).

Un bordé peut aussi être généré par la succession d'un cône et d'un cylindre. Cette surface "mixte" a toujours pour condition la continuité de la courbe de référence servant d'appui aux génératrices et une génératrice commune, celle qui à la fois portera le pôle et sera parallèle aux autres génératrices du cylindre (fig. 1-6).

## SURFACES RÉGLÉES "SEMI - DÉVELOPPABLES"

Les surfaces coniques présentent "du rond" au niveau des sections transversales, ce qui peut être considéré comme un inconvénient lors de la mise en œuvre. Les tracés et les découpes de la structure transversale de la coque sont plus contraignants (courbes entre bouchains au lieu de droites). Lorsque l'évolution de l'inclinaison des bordés est progressive et de faible évolution, l'architecte peut avoir recours à un autre type de technique de génération de surface. Il ne s'agit pas à proprement parler de surfaces développables, mais d'une surface réglée effectivement "bordable" si l'évolution de l'inclinaison est progressive et reste modérée. On parlera alors de "surface réglée à faible évolution".

Le principe est le suivant : les génératrices droites s'appuient sur une courbe de référence prédéfinie. Elles sont contenues dans des plans parallèles et verticaux comme pour les surfaces cylindriques, mais elles ne sont pas parallèles entre elles. Elles sont concourantes comme pour des surfaces coniques (mais pas dans les trois dimensions) en un pôle fictif qui n'a de réalité que sur la vue des sections. Dans les autres vues (en plan et en élévation), ce point se déplace sur une droite (fig. 1-7). Ce type de surface a les caractéristiques suivantes : les bordés présentent des sections rectilignes mais leur inclinaison varie progressivement (fig. 1-8). Il exploite la possibilité du matériau à tolérer une double contrainte. L'intérêt de telles surfaces est évident à la construction, mais le rôle de l'architecte est d'apprécier si l'évolution imposée sera tolérable par le matériau. Enfin, une carène dessinée suivant ce principe présente quelques inconvénients :

- la maîtresse section sera nécessairement contenue dans un plan vertical, c'est-à-dire avec le creux (profondeur) et le bau (largeur) maximum implantés dans le même plan vertical, ce qui limite les possibilités
- il sera impossible de faire évoluer un bordé presque horizontal à l'arrière vers une inclinaison presque verticale à l'avant, comme c'est souvent le cas des carènes planantes contemporaines.

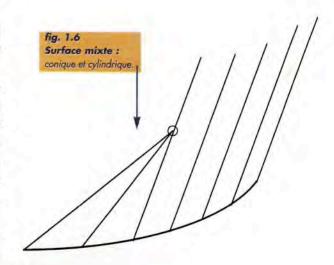
Cette technique de tracé à été décrite pour la première fois, à notre connaissance par Jean Angeli dans un traité de datant de 1941 sur le "tracé des carènes de Yacht angulaire" paru aux éditions Maritimes le Yacht, mais n'a jamais eu la prétention de générer des surfaces développables, ce qui est fort compréhensible si on le replace dans son contexte historique : nous sommes en pleine seconde guerre mondiale et les "yacht angulaires", bien que plus simples à réaliser, étaient bordés, comme leurs homologues en forme, en planches (ou "virures") de bois. Enfin, comme dans le cas de surfaces coniques, il est possible de générer les formes d'un bordé contreplaqué par une succession de surfaces de ce type, ou de les mixter avec des surfaces cylindriques, en respectant une fois encore les conditions de continuité de la courbe de référence et de génératrice commune à la transition.

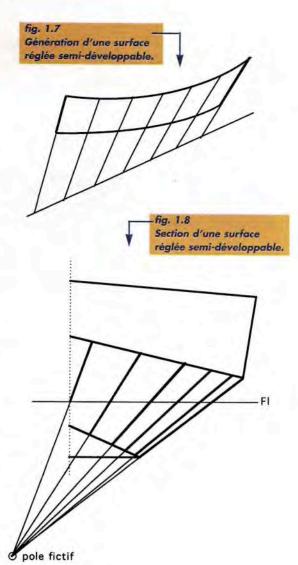
Autres incidences du principe constructif sur les formes de carène : une coque réalisée en contreplaqué impose une carène à bouchains et des formes intégralement ou semi-développables, nous l'avons vu. Mais le procédé de mise en œuvre retenu, suivant l'une ou l'autre des techniques développées dans les pages qui suivent, peut aussi avoir une influence notable sur la conception initiale des formes de la carène dans un souci de cohérence architecturale et de simplification de la mise en œuvre.

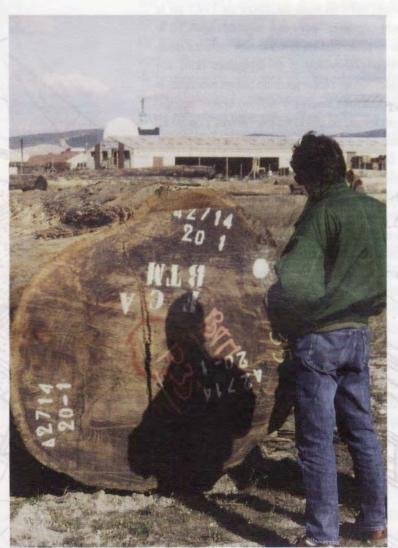
Ainsi, par exemple, en construction sur ossature bois, où les cloisons d'aménagement sont structurelles et servent à la fabrication de la coque, il sera judicieux de faire coïncider la maîtresse section (section transversale la plus grande) — ou du moins sa partie la plus large si le maître couple est incliné — avec une cloison d'aménagement. Sinon il faudra prévoir un gabarit provisoire supplémentaire à cet endroit.

Autre exemple, dans le cas d'une construction CP époxy, où la liaison entre bordés est assurée à l'intérieur par un congé de mastic epoxy armé de couches de tissus de verre stratifiées, on cherchera à eviter les angles trop ouverts à l'avant entre bordés consécutifs, en conservant des bouchains marqués : sinon la réalisation du congé sera impossible (angle plat) et la résistance de l'assemblage limité aux seules couches de renfort en stratifié.

Ce type de contraintes est souvent pris en compte par les architectes des la conception et peut constituer la justification de formes de commes souvent différentes mais tout aussi cohérentes suivant le principe constructif auquel elles sont destinées.







hanneau te avajou 3: doublante d

toutlante a

Loublante de noisch PM 160×12

acajou 35x25-

## ES BOIS

Le bois est l'élément de base de la construction. Il y est utilisé bien sûr sous forme de panneaux de contreplaqué mais aussi, notamment dans le cas d'une construction sur ossature bois, sous forme d'éléments en massifs, parfois ployés ou lamellés (photo 2A).

## CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET MÉCANIQUES

Le bois est un matériau d'origine biologique, qui se présente comme un tissu de cellules mortes, constituées de cellulose (à 60 %) et de lignite.

Le bois est à la fois un matériau orienté — car composé de fibres disposées dans un sens privilégié — un matériau hétérogène du fait des différences entre éléments constitutifs de ses tissus, et enfin un matériau anisotrope (l'orientation des fibres est structurelle) car ses propriétés mécaniques et physiques varient suivant le sens considéré.

Les différentes essences sont classées en deux grands groupes : les feuillus, et les résineux. D'une espèce à l'autre, les caractéristiques varient considérablement. En construction navale "bois collé", on privilégie l'emploi de bois stables donc à faible hygrospicité (peu sensible à la variation d'humidité) et faible rétractabilité (peu de variation dimensionnelle). On opte aussi pour des bois durables (peu sensible à la pourriture, et au développement de moisissures), légers au regard de leurs performances mécaniques (voir tableau ci-dessous), et des bois faciles à mettre en œuvre, c'est-à-dire faciles à usiner, à coller, prenant bien les pointes ou les vis et peu fissiles, des bois faciles à contraindre (bois droit de fil et sans nœuds) et enfin esthétiques tout en étant peu sensibles à la décoloration par les U.V. s'ils sont destinés à être vernis.

#### Ossature de la coque

Elle est réalisée avec des éléments en bois massif, voire pour certaines pièces en lamellés-collés.

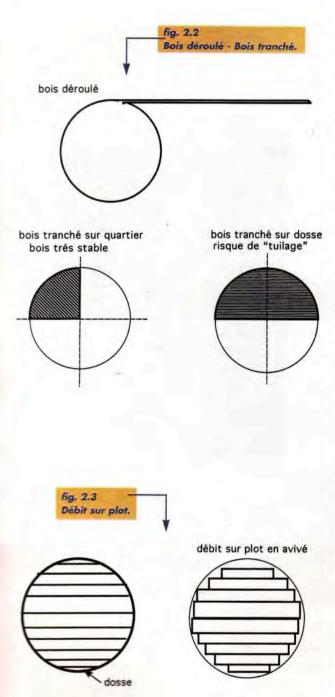


## Caractéristiques mécaniques de bois à 12 à 15% d'humidité en daN/mm²

		Flexion		Compr	ession	Traction	
	Densité	Ef	Rf	Rc//fil	Rc T fil	Rt//fil	Rt T fil
Accric	0,77	1 330	15	7,3		15	
Ausjau d'Afrique Ausamella	0,55	952 1 060	8,5	4,6 6,4	0,8		
Dièse Spesso	0,7	1380	13	6,2 5,0		9 8,5	0,7
Prince	0,7	1 240	11	5,8	1	16,5	0,66
iroke	0,64	1 035	9,6	5,4	1	15	
Microgon Microgon	0,87	1 700	15,8	7,4 5,7			

		Flex	ion	Compr	ession	Trac	tion
	Densité	Ef	Rf	Rc//fil	Rc T fil	Rt//fil	Rt T fil
Okoumė	0.45	800	8,6	3,7			
Pin d'Orégon	0,55	1 150	8.5	4.7	0.64	10,5	0.24
Pin sylvestre	0,5	1 200	11			11	
Sapelli	0,69	1 125	11,4	6,2			
Sipo	0,62	1 067	10,1	5,6			
Spruce	0,45	1 100	7	3,9	0,5		0,26
Teck	0,7	1 130	13,7	5,9	1		
Western Hemlock	0,47	1 200	11			11	
Western red cédar	0,4	790	5,5	3,5	0,43		0,24

Remarque : pour la résistance au cisaillement des bois, on peut tabler sur 1/10 de la résistance en compression Rc



Compte tenu des critères imposés, le choix du concepteur s'orientera généralement vers des bois exotiques d'origine africaine comme l'acajou, l'okoumé, le sipo... Etc.

Pour plus d'information reportez-vous au dossier n°11 de Loisirs Nautiques réalisé par Michel Baptista ainsi qu'au chapitre 2 du hors série n° 27.

## DÉBITS ET FORMATS

Les bois sont déroulés (comme avec un taille-crayon) et parfois tranchés en plis minces de 1 à 4 mm pour la fabrication des contreplaqués (fig. 2-2). Ils sont disponibles tranchés également de 2 à 5 mm pour la réalisation de lamellés fins permettant en construction CP la réalisation d'une étrave courbe, ou d'une membrure rapportée en lamellé-collé. Mais, sous cette forme, ils sont surtout utilisés pour la confection des membrures ou du bordé en bois moulé d'unités en forme.

Les grumes (les troncs) sont généralement débitées en plots pour la confection des éléments en massifs (fig. 2-3). Les épaisseurs des plots sont normalisées avec des épaisseurs courantes de 27, 34, 41, 54, voir 80 mm. Les plateaux centraux qui présentent une orientation des cernes perpendiculaires au plateau donnent les bois les plus stables et les plus recherchés. Ils sont en conséquence souvent débités en plateaux épais.

On utilise la partie de la grume appelée le duramen qui représente l'élément structurel du tronc. Le cœur au centre n'est pas utilisé en construction bois collé car peu durable pour certaines espèces, de même que l'aubier situé en périphérie de la grume, différencié sur les essences utilisées par une couleur plus claire, bois tendre peu résistant souvent infesté par des larves d'insectes (fig. 2-4). On parle d'un débit sur plot en avivé, lorsque les chants des plateaux sont "vifs" c'est-à-dire recoupé et débarrassé de l'aubier et de l'écorce.

La construction d'une unité en contreplaqué nécessite parfois l'utilisation de bois "grande longueur" pour la réalisation de la structure longitudinale, notamment dans le cas d'une construction sur ossature bois. Si l'on trouve couramment des billes de 3 à 6 m, les longueurs supérieures sont plus rares, et de toute façon pas toujours conseillées car la chute de l'arbre lors de l'abattage peut avoir créé des fractures internes difficilement décelables à l'œil mais qui risquent d'entraîner la casse de la pièce usinée lors de sa mise sous tension.

Pour obtenir les grandes longueurs requises, on va réaliser des assemblages par scarfs collés avec des sifflets de longueur égale à 10 fois l'épaisseur de la pièce (fig. 2-5). Les sifflets seront généralement réalisés puis assemblés à partir des plateaux d'avivé, avant débits et usinages des différents éléments, d'où l'intérêt pour l'architecte d'uniformiser au maximum les sections employées pour limiter les pertes à l'usinage.

Les scarfs de longueurs importantes garantissent en principe une bonne continuité des reprises des contraintes. On veillera cependant, lors de la construction, à bien "décroiser les scarfs" c'est-à-dire à éviter que les scarfs de pièces voisines soient implantés dans la même zone.

#### FORMAGE DES BOIS

Les bois utilisés sont choisis bien droit de fil et parfaitement rectilignes. Contrairement à la construction traditionnelle en bois classique, on n'utilise pas de bois naturellement courbe (bois tords) ni formés par étuvage.

En conséquence, les pièces qui doivent présenter une forme cintrée seront obtenues soit par ployage (cintrage), soit par chantournage (découpage courbe), soit par contrecollage (lamellé collé).

### • Structure ployée :

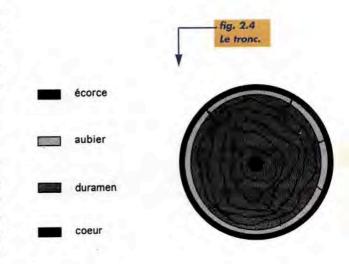
L'ossature longitudinale d'une coque (quille, serres et lisses) sera généralement réalisée en massif ployé donc contrainte et immobilisée en place par collage et par des pointes ou des vis. Dès que la section des pièces est trop conséquente pour être contrainte manuellement, on peut la réaliser en plusieurs pièces mises en place successivement et contrecollées Ce sera souvent le cas pour la quille d'une unité à fond en V, avec un lamellé à plan de collage horizontal, ou les quilles d'angle (ou serres de bouchains inférieurs) d'une unité à fond plat, avec cette fois un lamellé à plan de collage vertical.

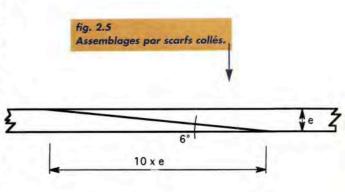
#### Structure chantournée :

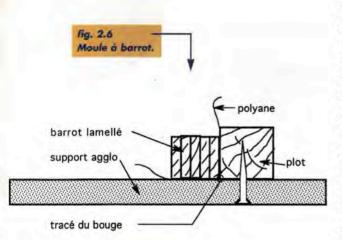
A utiliser avec circonspection et suivant les spécifications de l'architecte, car, le bois étant découpé à la forme voulue, les fibres sont interrompues et la pièce est fragilisée. D'une manière générale, certains éléments en bois peuvent être chantournés lorsqu'ils sont "doublés" par un élément en contreplaqué auquel ils sont collés, ce qui est le cas des estains de cloisons structurelles c'est-à-dire tous les éléments implantés en bordure de découpes (ceintures, barrots et barrotins de cloisons). Ce pourra être aussi le cas de certains massifs indépendants si le chantournage est faible, c'est-à-dire s'il reste suffisamment de matière présentant des fibres non interrompues, comme par exemple des barrotins de pont rapportés de faible portée (faible franchissement) implantés au niveau des passavants.

### • Structure lamellée :

Certains éléments courbes vont être réalisés en lamellé collé, formés sur un moule. C'est le cas notamment des barrots de pont, qui en constitue la structure transversale. La courbure correspondante s'appelle le "bouge". La réalisation des barrots peut n'exiger que la réalisation d'un seul moule si tous les barrots présentent une courbure identique quelle que soit leur zone d'implantation. On parle alors de







pont à "bouge constant", par opposition à un pont dit à "bouge variable" aui, lui, nécessitera plusieurs moules à barrots.

La réalisation d'un moule à barrots ne présente guère de difficultés. Il peut être réalisé en fixant sur une plaque en agglo épais des équerres métalliques boulonnées (méthode conseillée dans le cas d'un bouge variable nécessitant plusieurs moules), ou des plots en bois collés et vissés (par-dessous) ou cloués avec des pointes à larder (clouage en biais par-dessous) (fig. 2-6). Les plots ou équerres seront disposés à l'extérieur et tangentent la courbe correspondant à la face supérieure des barrots. Les cotes du ou des bouges préalablement tracés sur le moule sont données sur les plans fournis par l'architecte. Ce peut être des arcs de cercles ou d'autres courbes géométriques tel que "quart de nonante".

Pour faciliter le démoulage, on peut soit badigeonner le moule d'un agent démoulant, qui peut être de la paraffine fondue étalée au pinceau, soit interposer lors du moulage une bande de polyane.

Le nombre de plis et leurs épaisseurs sont spécifiés sur les plans de l'architecte. Les lattes seront débitées plus larges que prévues, en exploitant les formats normalisés des plateaux de massif, pour pouvoir assurer les opérations de finition du barrot après démoulage. Ainsi, pour un barrot de 20 mm fini, on réalisera le débit dans du 27 mm; pour du 25 mm ou du 30 mm fini, on prendra du 34 mm brut, etc. Il faut toujours prévoir une marge d'au moins 4 mm.

Les lames des barrots préencollés sont plaquées contre le moule et la pression est assurée par serres joints. Il faut penser à interposer entre les mâchoires et les barrots des petites cales en CP pour ne pas marquer la face inférieure du barrot.

Après avoir respecté les temps nécessaires au collage (voir plus loin le chapitre consacré aux adhésifs), le barrot est démoulé puis usiné à la dégauchisseuse sur une face, puis à la raboteuse pour la face opposée pour l'amener aux cotes spécifiées sur les plans.

Notez enfin pour mémoire que les pièces lamellées en forme ont toujours tendance à se redresser après démoulage et cela d'autant plus que le nombre de plis et que le rayon de courbure sont faibles. Dans le cas d'un bouge circulaire, ce retrait ou effet "spring back" peut être compensé par l'adoption d'un rayon de courbure "corrigé" R1, fonction du rayon initial R et du nombre de plis N, donné par la formule suivante : R1 =  $\frac{R(N^2-1)}{R}$ .

Dans les faits, rares sont les constructeurs qui en tiennent compte, car d'une part, ces retraits restent faibles du fait des grands rayons de courbure utilisés pour les bouges de pont, et qu'ensuite, même dans le cas d'un bouge constant, cela conduirait à prévoir un moule pour chaque section de barrots dont le nombre de plis diffère.

### BOIS HUMIDES, BOIS GRAS

Un des derniers aspects à prendre en considération est le taux d'humidité du bois, qui doit être compris entre 12 et 15 % en règle générale pour les massifs utilisés (variable suivant les adhésifs), ce qui va nécessiter un étuvage préalable par le fournisseur.

Ce taux réduit se justifie à plusieurs titres :

- tout d'abord, plus un bois est sec, plus ses performances mécaniques sont optimisées. Encore faut-il pouvoir garantir dans le temps la conservation de ce faible taux par un revêtement de surface réellement étanche (d'où l'intérêt des résines époxydes).

- ensuite parce que la qualité des collages est tributaire de ce faible taux avec d'ailleurs des exigences plus ou moins contraignantes suivant le type d'adhésif utilisé, comme nous le verrons plus loin.

Des bois peuvent présenter des difficultés de collage avec certains adhésifs. Il s'agit des bois trop humides (fraîchement abattus et non séchés), de bois denses (lourds, révélateur d'une fibre serrée), ou, à l'inverse, de bois très poreux (qui "pompent" trop l'adhésif), des bois acides (Ph peu élevé associé à un taux d'humidité important), des bois cémentés en surface (durcis en surface suite au séchage...), de bois carbonisés en surface (lors de l'usinage), mais aussi des bois résineux (qui exsudent (suintent) la résine sous forme naturelle ou caoutchouteuse) ou des bois gras.

L'intérêt des bois gras est pourtant de présenter une très bonne résistance à l'humidité. On dit qu'ils sont "auto protégés" et leur emploi est intéressant en milieu marin pour la confection de certaines pièces exposées. Les bois de finitions extérieures du pont par exemple (calepieds, listons, mains courantes), pourront être laissés bruts s'ils sont réalisés dans des essences grasses telles que le teck ou l'iroko. Mais il sera indispensable de dégraisser au préalable les surfaces à encoller. Les dégraissants généralement utilisés sont l'acétone ou encore le vinaigre d'alcool chaud (vinaigre blanc). Le trichloréthylène parfois utilisable est incompatible avec certains adhésifs (essais préalables vivement conseillés).



Finition extérieure Les bois gras comme le teck sont utilisés pour les finitions extérieures du fait de leur grande résistance à l'eau.

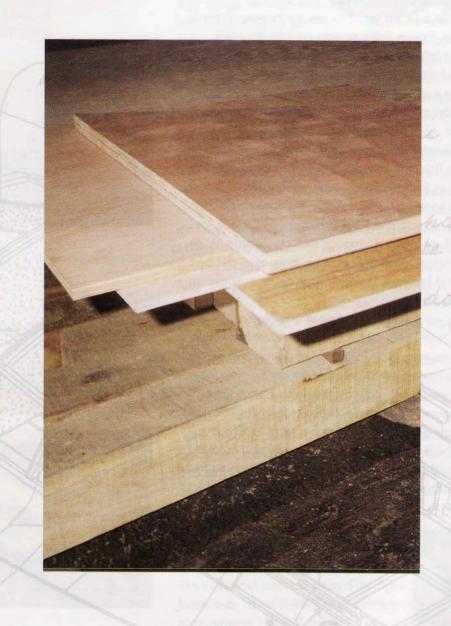
## On voit bien sûr cette photo le

cœur, jamais utilisé, le duramen, l'élément structurel qui représente la partie "utile", et l'aubier trop tendre et peu résistant.



#### Séchage du bois Avant utilisation, le taux d'humidité doit être compris entre 12 et 15 %.





reblante de noinch

acajou 35×25-

# **ES CONTREPLAQUÉS**

Ces contreplaqués sont constitués de plis en bois déroulé de différentes essences.

#### LES ESSENCES

Pour les CTB-X "extérieurs", on optera pour du tout okoumé pour les éléments à peindre, et pour ceux à vernir pour des CTB-X "ébénisterie" avec plis intérieurs en okoumé déroulé et faces en bois tranché dans l'essence souhaitée.

Pour les CPM des peaux extérieures, on respectera bien évidemment les préconisations de l'architecte portées sur les plans. Elles seront vraisemblablement :

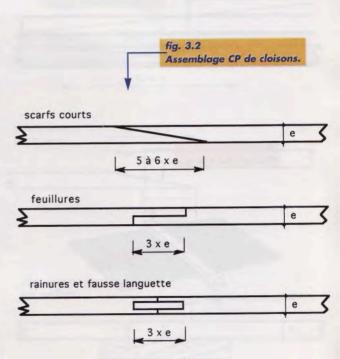
- soit un CPM tout okoumé lorsqu'une imprégnation intérieure et extérieure époxy est imposée.
- soit un CPM okoumé avec faces en acajou (ou exotique rouge : sipo, sapelli, moabi...) pour améliorer la résistance à l'abrasion, quel que soit le mode de protection ultérieur.
- soit un tout acajou (ou exotique rouge) dans une optique de plus grande longévité ou d'amélioration des caractéristiques mécaniques à épaisseur égale, quel que soit encore une fois le mode de protection ultérieur.

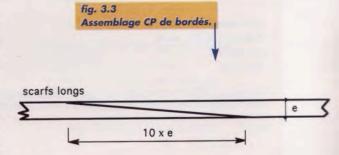
Nombre de plis des CP utilisés														
Epaisseur	3	4	5	6 6,5	8	9	10	12	15	18 0 19	20 à	23 25	26 27	30
СТВХ СРМ	3	3	3	3 5	5	7	5	5 9	7 11	7	9 15	11 17	19	13

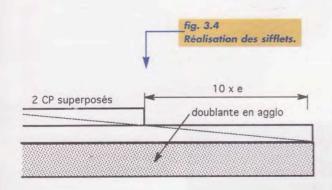
#### LES FORMATS

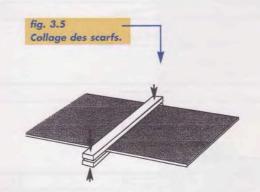
En France les formats usuels des panneaux manufacturés sont de 3,10 m x 1,53 m, 2,50 m x 1,53 m, et 2,50 m x 1 m. Lorsque la taille de certains éléments dépasse ces formats standards, il s'avère nécessaire de réaliser des assemblages collés.

Pour les éléments d'aménagements structuraux telles que les cloisons transversales ou les façades longitudinales, on optera soit pour des scarfs courts réalisés au rabot (assemblages en sifflets), soit pour des assemblages par feuillures, ou encore à rainures et fausses languettes réalisées à la toupie ou à la défonceuse (fig. 3-2). Il faut impérativement éviter les assemblages par lamellos utilisés dans l'ameublement. Pour une coque en contreplaqué les panneaux de bordés "grande longueur" seront obtenus en assemblant par scarfs longs (L = 10 fois l'épaisseur) les différents panneaux, à plat à l'atelier (fig. 3-3). Les sifflets sont généralement réalisés au rabot électrique tout d'abord,









puis à la main pour finir. Pour garantir la parfaite angulation des deux sifflets, on superpose pour cette opération les deux panneaux à assembler (fig. 3-4).

Le collage des sifflets peut s'effectuer de différentes manières pour obtenir la pression nécessaire au collage : à l'aide de presse à plaquer d'ébéniste, au moyen de bois courbes ou l'aide de profilés métalliques rigides serrés en extrémités (*fig. 3-5*). Enfin, dans le cas de collage époxy, on peut procéder par vissage provisoire de l'assemblage car ces résines ne présentant pas de retrait, elles n'exigent pas une forte pression. Toutes ces techniques sont largement développées dans le hors série 27 de Loisirs Nautiques.

Pour un pont en contreplaqué, on pourra soit utiliser des panneaux pré-assemblés comme précédemment, soit réaliser des scarfs courts collés directement lors de la mise en place à l'aplomb de barrots, pour les raccords longitudinaux. Enfin, on peut réaliser des assemblages "à francs bords" pour les raccords transversaux sur ossature longitudinale (fig. 3-6).

Il existe des contreplaqués spéciaux présentant un sens d'utilisation privilégié : les plis disposés dans le sens de la longueur du panneau sont plus épais que ceux disposés en travers pour une meilleure résistance en flexion dans un sens. Ce type de panneau est particulièrement bien adapté à la confection de safrans ou dérives.

## CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

Le contreplaqué est un matériau léger, très solide et très rigide. Si l'on compare objectivement la résistance en flexion du contreplaqué à

## Comparaison de la solidité et de la rigidité des différents matériaux

Sur éprouvettes de poids égal, de 1 m², encastrées aux extrémités.

Solidité	Résistance du matériau daN/mm²	Poids de l'éprouvette Kg	Section largeur x épaisseur mm	Contrainte maximum avant déformation permanente daN
Contreplaqué (à 45°)	6,5	9	1 000 x 15	702
Polyester (à 35° verre)	17,2	9	1 000 x 5,45	681
Alu AG4MC	12,5	9	1 000 x 3,4	192,7
Acier E24	23,5	9	1 000 x 1,15	41,4

Remarques : CP tout acajou pris à 45° car Rf différentes suivant sens panneau. Au-delà de la contrainte maximum, l'acier et l'alu seront définitivement cabassés mais non percés car c'est la limite élastique du matériau qui est prise en compte. Pour le CP et le polyester, limite élastique et à la rupture sont confondues.

Rappel: 1 daN = environ 1 Kgf (0,981 Kgf)

Rigidité	Module d'élasticité daN/mm²	Flèches aux contraintes Maxi en mm	Flèches pour une contrainte de 41,4 daN en mm
Contreplaqué (à 45°)	600	100,3	5,9
Polyester (à 35° verre)	755	348,2	21,2
Alu AG4MC	7 200	42,6	9,1
Acier E24	20 600	82,4	82,4

### Caractéristiques mécaniques moyennes du CPM en daN/mm²

	Fle	xion	Traction	Compression	
Densité	Rf	Ef	Rt	Rc	
0,5 à 0,6	5,5 à 7	550 à 700	3,5 à 4	1	
Okoumé ou acajou	suivan				

d'autres matériaux utilisés en construction navale comme le polyester, l'alu ou l'acier, on s'aperçoit qu'il s'agit du meilleur compromis légèreté, solidité rigidité. Autrement dit on peut construire plus léger qu'avec ces autres matériaux à résistance et rigidité égale ou à l'inverse construire plus solide et plus rigide à poids égal.

Il faut bien comprendre que si, à l'heure actuelle, la construction navale en contreplaqué est marginale par rapport à son homologue en polyester, ce n'est pas parce qu'il s'agit d'un moins bon matériau, mais parce que sa mise en œuvre se prête moins à une production industrialisée à même de réduire les coûts de fabrication.

Contrepartie de cette grande rigidité, la flèche peu importante obtenue sous la contrainte témoigne d'un rayon de cintrage admissible peu élevé. Le rayon de cintrage réellement exploitable pourra être calculé au 1/5° de la contrainte à la rupture. Au delà, le contreplaqué sera plus difficile à former mais on pourra toujours avoir recours à la technique du contreplaqué moulé en deux épaisseurs mises en place successivement et contrecollées.

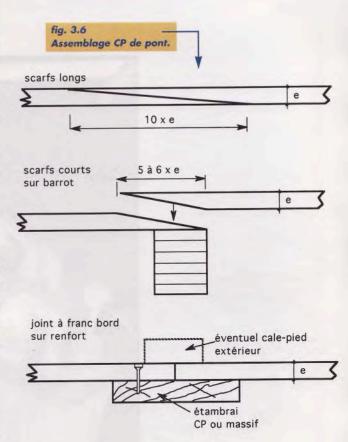
#### ENTRETIEN

A l'heure actuelle, l'entretien d'un bateau en contreplaqué réalisé dans les règles de l'art n'est plus un problème. Et c'est vrai pour l'ensemble des constructions "bois collé" contemporaines.

Le développement des systèmes de protection de surface (imprégnation époxy et peintures polyuréthanne bi-composant) permet de garantir une meilleure résistance du bois à l'abrasion et un entretien analogue à celui des autres matériaux : la peinture extérieure commence à se ternir au bout de 5 années, sans perdre cependant son pouvoir protecteur. Mais une nouvelle couche de laque tous les dix ans est indispensable.

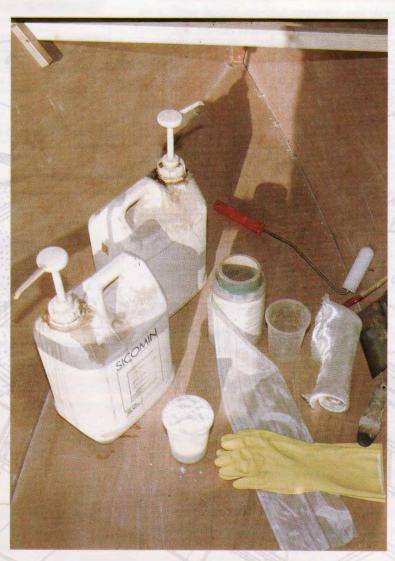
Bien évidemment, mais c'est vrai aussi pour le polyester, l'acier ou l'alu, c'est l'intégrité de cette protection de surface qui assure celle du matériau et de ses caractéristiques mécaniques. Il faudra donc ponctuellement réparer les accrocs.

La longévité d'une construction en CP est aussi un de ses points forts, pour peu que lors de sa mise en œuvre l'on ait respecté le principe élémentaire suivant : le bois debout (qui véhicule l'humidité) doit être protégé soit de manière totalement et définitivement étanche, soit être accessible pour son entretien régulier.



## Rayons de cintrage pratique

	Rayon de cintrage						
Epaisseur en mm	Sens longitudinal en mm	Sens transversal en mm					
6,5	2	1,5					
9	2,5	2					
12	3	2,5					
15	4,5	4					
18	5,5	5,2					
21	6,5	6					
24	7,5	7					
27	9	8					
30	10	9					



hanneau Le acejou 35 doublante d'

pri 160×12

acajou 35,25 25,825

## ES COLLES ET RÉSINES

En construction contreplaqué, tous les assemblages sont collés. La qualité des adhésifs utilisés conditionne grandement la solidité de la construction.

Trois types de d'adhésifs sont généralement utilisés :

- les colles résorcines
- les colles polyuréthannes
- les colles époxydes

## COLLES A BASE DE RÉSORCINE FORMALDÉHYDE

(Ex : Enocol ou Aerodux 185, Sader Marine, Rousselot Cirbothen, Bakélite,...)

Cette colle se compose de la résine proprement dite, un liquide rouge sombre et un durcisseur en poudre blanc ou beige.

Excellente colle, elle nécessite des assemblages parfaits du fait d'un phénomène de retrait par évaporation de solvant lors de la polymérisation. Son emploi peut constituer à lui seul une garantie de savoir faire par les chantiers qui l'utilisent.

La colle est appliquée sur les deux éléments à assembler à raison de 225 g/m². La pression nécessaire au collage est comprise entre 7 et 14 Kg/cm². La colle doit "dégueuler" lors du serrage. La durée de serrage va varier surtout de 6 h (à 15° C) à 1 h (à 40° C), l'idéal étant de 4 h à 20° C. Pour les assemblages "en tension" (pièces ployées comme par exemple des barrots lamellés), il faut assurer le serrage 24 heures.

Le temps d'exposition "assemblage ouvert" après encollage n'est que de 12 minutes à 15° C et de 4 minutes à 25° C. Mais "assemblage fermé" (pièces superposées), on dispose avant mise en pression de 90 minutes à 15° C et 30 minutes à 25° C.

Ces colles tolèrent des bois présentant une humidité de surface comprise entre 6 et 20 %, l'idéal étant compris entre 11 et 16 % avec une différence entre les deux éléments ne devant pas excéder 3 %. Les taches fraîches peuvent être éliminées à l'éponge humide et les peuvent à l'eau savonneuse chaude.

# PULPS POLYURÉTHANNES MONO-COMPOSANT

couleur brun jaune qui polymérise à l'humidité de l'air.

Ele nécessite encore une fois des assemblages parfaits, sinon la colle s'expanse, donnant l'illusion d'un joint comblé mais par de la mousse polyuréthanne n'offrant guère de résistance. Cela peut avoir des conséquences fâcheuses dans le cas d'un assemblage structurel de faible surface de contact.

#### Un collage parfait

Quel que soit le type de colle utilisée, la qualité du collage dépendra du soin apporté ainsi que du respect des températures et des dosages spécifiés par le fabricant.



Par contre, cette caractéristique peut parfois être exploitée positivement : dans le cas de surfaces de contact importantes où la pression est difficile à contrôler pour des pièces mécaniquement peu sollicitées (ex : éléments en CP moulé de pontage de rouf), ce moussage va combler les vides en constituant en quelque sorte l'âme d'un sandwich bois.

C'est à l'architecte Jean-Jacques Herbulot que revient cette idée, exploitée pour la première fois sur le bordé de fond plat des Figaro réalisés en deux plis de CP contrecollés.

Compte tenu de ce qui précède, l'humidité des supports doit être de l'ordre de 13 % pour ne pas provoquer de moussage exagéré.

La colle est appliquée sur les deux éléments à assembler à raison de 400 g/m². L'assemblage est fermé 1/2 heure après (surface poisseuse mais ne coulant presque plus). Dans le cas de bois très poreux une nouvelle application est parfois nécessaire.

Le temps de prise est assez long : environ 12 heures à 20° et deux à trois fois plus à des températures inférieures, et d'au moins 48 heures pour des pièces en tension.

L'une des caractéristiques intéressantes de cette colle tient dans le fait qu'elle tolère d'assez basses températures d'utilisation. Elle durcit à des températures allant de 5° à 25°, les conditions optimales d'utilisations étant comprises entre 15° et 20°.

Si elle reste assez peu employée à l'heure actuelle en tant qu'adhésif structurel des éléments extérieurs — sans doute à cause du temps nécessaire à sa mise en œuvre que ne compense pas l'agrément d'un produit mono-composant — elle constitue une alternative intéressante pour le constructeur amateur qui dispose du temps nécessaire mais pas toujours de conditions idéales : cela peut par exemple lui permettre de poursuivre les travaux l'hiver sur ses aménagements intérieurs.

Enfin, la colle polyuréthanne mono-composant s'avère une protection efficace pour le bois, une fois masquée car cette résine est sensible aux ultraviolets (moins que l'époxy cependant). Diluée à 40 % d'acétone, elle constitue un excellent primer d'imprégnation avant des séquences de peintures (sous-couches et laques polyuréthanne mono-composant). Une alternative intéressante à conseiller à ceux qui présentent des allergies aux résines époxy.

L'essuyage des coulures fraîches et le nettoyage des outils se font à l'acétone.

## COLLES ET RÉSINES ÉPOXYDES

(Ex : Sicomin, West System, SP System, Lambiotte, Rea, Araldite...)
Les résines époxydes sont certainement, à l'heure actuelle, le type d'adhésif le plus utilisé en construction bois collé. Tout d'abord parce qu'il s'agit objectivement d'un adhésif performant. Ensuite parce qu'aux yeux du public, l'époxy est associée aux produits "haute technologie", utilisés pour la réalisation des composites de pointe de l'aéronautique,

de la compétition automobile et des voiliers de course open.

Les résines époxydes possèdent des caractéristiques qui les rendent particulièrement performantes en association avec le bois. Ces qualités sont principalement :

- une très bonne étanchéité à l'eau et à la vapeur,
- de bonnes caractéristiques mécaniques notamment par rapport à la résine polyester,
- une utilisation en colle ou en résine,
- la possibilité d'être appliquée en épaisseur sans nuire à la résistance de l'assemblage,
- une viscosité permettant une bonne pénétration des fibres du bois,
- une excellente adhésion en général et sur le bois en particulier,
- la possibilité d'ajouter des charges de nature différente, sous forme de poudres, pour fabriquer des mastics aux caractéristiques spécifiques,
- une absence de solvant qui permet une polymérisation sans retrait. Mais chaque médaille à son revers :
- comme la plupart des produits de pointe, pour obtenir un matériau au maximum de ses qualités, la mise en œuvre doit être sans reproche au niveau des dosages et des conditions de température comme d'hygrométrie. L'amateur devra toujours respecter scrupuleusement les consignes des fabricants de résine,
- le point le plus délicat concernant les résines époxydes est le danger d'allergies provoquées par la toxicité de ces produits. Les vendeurs de résines n'insistent souvent que peu sur ces problèmes pourtant reconnus par tous. Nul n'est à l'abri de ce phénomène, il est par conséquent indispensable de se protéger efficacement. La procédure à respecter est la suivante :
- porter des gants,
- se laver les mains après l'utilisation des résines,
- ne pas se frotter les yeux et la peau lors du travail de la résine,
- porter un masque à solvant de bonne qualité.

Les frais occasionnés pour l'achat de matériel de protection sont faibles par rapport aux prix des produits pour la construction du bateau. Le constructeur amateur choisira des gants souples jetables ou des gants type "Mappa" qui pourront servir un peu plus longtemps. Un vrai masque à solvant avec des cartouches de rechange est indispensable, il servira pour la résine et les travaux de finition [enduits et peintures].

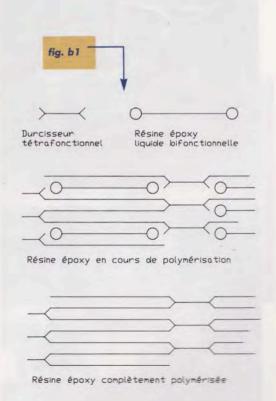
### CONDITIONS DE TRAVAIL ET MISE EN ŒUVRE

Les résines époxydes sont composées d'une base de résine et d'un durcisseur. Lors de la polymérisation, qui est exothermique, il se crée des liaisons chimiques entre ces deux constituants (fig. b1). Il est bien visible sur ce dessin, que le dosage du mélange résine/durcisseur est important, il est fonction des liaisons chimiques entre les deux composants. La proportion de durcisseur par rapport à la résine est

#### Protection obligatoire

Le port du masque à solvant est fortement conseillé pour éviter tout risque de maladie. Une protection du corps et des mains est aussi indispensable.





La balance est primordiale Les balances modernes électroniques permettent un tarage facile



Pré dosage pratique
Les pompes de dosage sont d'une
grande facilité d'utilisation pour
effectuer le mélange résine/durcisseur.





un point primordial de la réussite de la polymérisation. Un défaut dans l'élaboration du mélange entraînera des liaisons non connectées qui auront pour conséquence une altération de la résine, une attaque par des agents chimiques (eau) et de moins bonnes propriétés mécaniques.

Les parts entre résine et durcisseur sont données suivant les fabricants, en poids ou en volume, parfois dans les deux mesures ce qui est pratique car la densité des résines est supérieure à 1. Attention : résine et durcisseur n'ont pas toujours la même densité. La marge d'erreur acceptable est de l'ordre de 2 %. Le constructeur amateur doit donc s'équiper d'outils de mesures fiables : balance ou récipients gradués. Certains fabricants de résines époxydes vendent des pompes de dosage qui fonctionnent correctement.

Les deux composants doivent être très bien mélangés pour que les liaisons chimiques puissent se connecter correctement. Ce dernier point est aussi très important.

Les résines époxydes ont des températures de polymérisation variant de 5°C à 120°C suivant les domaines d'utilisation. Certaines servent dans la construction des bâtiments et leurs températures de mise en œuvre sont peu élevées, d'autres nécessitent des cuissons à 80°C ou 120°C comme les résines des tissus pré-imprégnés. La plupart des résines, pour la stratification en voie humide, polymérisent à des températures minimales de 18°C à 20°C. Dans tous les cas, il est indispensable de suivre les indications du fabricant.

Il est déconseillé d'élever la température de l'air en cours de travail. En effet, lorsqu'une petite bulle d'air, nous parlons même de microbulle, est bloquée dans une stratification, elle augmente de volume par dilatation si la température s'élève. Ce problème se rencontre surtout l'été si le constructeur commence une stratification le matin alors que la température risque de monter. Il faut travailler à température constante ou mieux avec des plages de températures décroissantes, tout en restant au-delà des minima indiqués par le fabricant de résine.

Afin d'adapter les temps de polymérisation aux conditions de températures (saisons, local...), il existe des durcisseurs lents ou rapides. Le type de durcisseur détermine aussi le temps de prise de la résine. Généralement, avec un durcisseur lent, une résine à 18°C polymérise en 24 heures. De façon plus pratique, à chaque type de durcisseur correspond un temps d'utilisation de la résine avant qu'elle ne commence à durcir (cette durée diminue lorsque la température s'élève). C'est le temps de travail, variant de 2 heures à 5 heures suivant les durcisseurs et les différentes marques de résine.

Il ne faut pas confondre le temps de travail et le "pot life", durée de vie de la résine en masse dans son récipient avant polymérisation. Une résine qui commence à polymériser ne peut plus être appliquée sur un tissu. Elle perd de sa viscosité et ne pénètre plus les fibres du tissu.

Il est conseillé de mélanger la résine et le durcisseur en petite quantité (500 g maximum), pour augmenter le pot life. De même, une fois le mélange effectué, la résine peut être placée dans un récipient plat, style bac à rouleaux, permettant une dissipation de la chaleur.

Nous verrons, dans le chapitre sur les joints-congés, le choix du durcisseur pour la réalisation du mastic.

Un autre point important, souvent négligé par les constructeurs amateurs, est le degré d'hygrométrie de l'air. Pour un travail avec de la résine époxy, le degré d'hygrométrie ne doit pas dépasser 70 %. Un hygromètre est, au même type que le thermomètre, un appareil de mesure indispensable dans le local de construction. Sous notre climat, une pièce chauffée voit très rapidement son degré d'hygrométrie baisser sous 70 %.

Un reste de mélange résine/durcisseur dans un pot ne doit pas être jeté dans une poubelle : le mélange en masse peut chauffer fortement et provoquer l'inflammation de papier ou de plastique. Il faut éviter les restes de résines en réalisant de petites quantités pour les joints-congés et en pesant les tissus pour les stratifications. Généralement, un tissu absorbe son poids en résine.

Le durcisseur des résines époxydes doit être impérativement stocké à l'abri de l'humidité. Il faut aussi protéger les résines du gel, bien qu'une résine cristallisée à cause du froid retrouve son aspect initial en la chauffant à 42°C - 48°C. Eviter également les températures rop élevées, le mieux est d'éviter les chocs thermiques et de réaliser en stockage dans un endroit où la température reste constante entre 16°C et 26°C.

Nous avons vu les nombreuses qualités des résines époxydes, il faut cependant en notifier un défaut : la plupart de ces résines résistent mal aux ultraviolets. Ce problème n'apparaît pas lorsque le bateau est peint mais cela peut être gênant sur une coque ou un pont vernis. Il existe des époxydes traitées anti U.V. dont le coût est forcément plus evé. Il arrive parfois au constructeur amateur de ralentir ou d'arrêter sa construction pendant plusieurs mois. C'est à ce moment-là qu'il fout penser protéger des U.V. le travail en cours de stratification. A ce propos, certains fournisseurs vendent des tissus d'arrachage qui peutent être peints pour protéger une stratification de façon temporaire.

#### LES CHARGES

charges sont des matières végétales ou minérales poudreuses de l'on ajoute à la résine pour en modifier sa consistance et ses coractéristiques. Il est possible de transformer ainsi de la résine en mastic. Il existe différents types de charges : les micro-fibres de bois, a slice colloïdale, les micro-sphères de verre, les micro-sphères en matière thermoplastique, les micro-ballons phénoliques et les micro-ballons de silicate d'aluminium. Ces poudres ont des densités très faibles et sont donc très volatiles, il convient de les manipuler avec précaution

#### Attention au "Pot Life"

Le récipient qui contient la résine doit être suffisamment grand pour éviter une élévation trop rapide de sa température et une durée de vie en masse (Pot Life) réduite



#### Préparation du mastic

En ajoutant des charges (silice, micro ballons...) à la résine, on obtient un mastic pour les joints ou finitions.



Attention à l'absorption de l'eau
Le stockage des charges doit être particulièrement saigné, à l'abri de l'humidité notamment.



Se confondre avec le bois
Les joints-congés de couleur brune
sont plus discrets sur le bois.



et d'éviter leur inhalation. La silice colloïdale et les micro-ballons ont tendance à absorber l'humidité de l'air, il faut les maintenir dans un emballage hermétiquement clos.

L'addition de charges à la résine permet de fabriquer des types d'adhésifs bien spécifiques :

- du mastic très léger pour les enduits de finition,
- du mastic pour des joints-congés basse densité,
- du mastic pour des joints-congés haute densité,
- de la résine faiblement chargée pour les collages bois.

Les caractéristiques des charges et leur application sont spécifiques et il faut souligner les points suivants :

- les micro-sphères en matière thermoplastique servent principalement pour les mastics des enduits de finition. Il est aussi possible d'utiliser des micro-sphères de verre et micro-ballons phénoliques pour ce type de mastic,
- les mastics "basse densité" sont confectionnés avec des micro-ballons et des micro-sphères de verre. La couleur brune des micro-ballons est appréciée pour les joints-congés se confondant avec le bois,
- les mastics pour joints-congés "haute densité" sont réalisés avec un mélange de silice colloïdale et de micro-fibres de bois. La silice colloïdale est un agent thixotrope, son rôle est donc d'épaissir le mélange et d'améliorer la tenue sur les parois verticales. Elle augmente aussi la dureté du mélange et la résistance à l'abrasion ; il est inutile de trop charger un mastic en silice si nous voulons pouvoir le poncer. Un mastic "haute densité" est constitué de deux volumes de micro-fibres pour trois volumes maximum de silice colloïdale,
- pour réaliser des collages, la résine est chargée avec les mêmes poudres que précédemment suivant les proportions : trois volumes de micro-fibres pour un volume de silice colloïdale.

Le tableau ci-dessous donne la correspondance des volumes résine/charge. Les charges sont intégrées à la résine après avoir effectué le mélange résine/durcisseur. Il est préférable de mesurer les quantités en volume plutôt qu'en poids, vu la faible densité de ces produits. L'utilisateur respectera les volumes de charge donnés par le fabricant. Il

	-	.aracteristic	ques de	es charges et leu	ir application
Nom	Couleur	Type de charge	Marque	Utilisation	Caractéristiques
Microfibres de bois	Blanchâtre	Cellulose de bois pulvérisée	Treecell	Collage Joint-congé haute densité	Excellentes propriétés épaississantes et de remplissage
Sillice colloïdale	Blanche	Bille de sillice pleine	Silicell	Collage Joint-congé haute densité Tout mastic à épaissir	Agent épaississant et de thixotropie
Microsphères en matière thermoplastique	Variable	Charge creuse	Whitecell	Enduit Joint-congé léger à stratifier	Obtention d'un mastic à très faible densité Bonne ponçabilité
Microsphères de verre	Blanche	Charge creuse	Glasscell	Enduit Collage des bois tendres	Fonction de remplissage par augmentation du volume de résine applicable. Performance mécanique et inertie chimique
Nicro-Ballans phénoliques	Brune	Charge creuse	Microballon	Enduit Joint-congé base densité	Facilité d'application Bonne ponçabilité
Micro-ballots de allicate d'aluminium	Grise	Charge creuse	Fillite	Mastics grossier Réagréage Volume de remplissage	Isolation phonique et thermique Bonne dureté et rigidité Excellente résistance en compression

Volume de charge admissible							
Charges	Volume maxi pour 100 ml de mélange résine/durcisseur en ml	Densité des mastics obtenus en g/l					
Microsphères en matière thermoplastique	280	680					
Microsphères de verre	350	840					
Microballons phénolique	350	820					
Microballons de silicate d'aluminium	260	810					
Microfibre de bois	140	950					
Silice colloïdale	190	1 070					

est conseillé de toujours mélanger la même quantité de résine et de noter pour chaque type de mastic les volumes de charge correspondants.

Chaque fabricant développe ses propres charges sous des noms commerciaux différents, il faut se reporter aux caractéristiques et aux données des distributeurs de résine. Pour faciliter le travail de l'opérateur, qui peut se perdre devant les nombreuses charges disponibles, il existe chez certains fabricants des charges prêtes à l'emploi pour les enduits à poncer, les joints-congés "basse densité", les joints-congés "haute densité" et les collages. Ce système, qui permet de n'avoir que trois types de charges et de reproduire le même mélange à chaque fois, peut s'avérer pratique pour le constructeur amateur. Il existe aussi des mastics bi-composants avec les parties résine et durcisseur sous forme de pâte. Les deux composants, de couleur différente forment un mastic époxy à la viscosité constante.

Ces types de produit sont de plus en plus présents dans les catalogues des vendeurs de résines, ils garantissent des mastics aux qualités identiques.

Attention, la résine chargée voit son pot life diminué, il est donc inutile de mélanger de grandes quantités d'autant plus que l'application des mastics demande parfois un certain temps (joints-congés).

## LE COLLAGE BOIS/ÉPOXY

Le bois est un élément naturel très sensible à l'humidité. Les variations d'humidité du bois provoquent des variations dimensionnelles importantes surtout sur les bois massifs mais aussi sur les panneaux de CP. Ces variations peuvent être néfastes pour les assemblages à réaliser. D'autre part, pour obtenir un collage correct avec la résine époxy, le bois doit avoir un taux d'humidité inférieur ou égal à 12 %. Ce taux d'humidité correspond à celui d'un bois situé dans une pièce normalement chauffée. En conclusion, les bois massifs et CP, qui constitueront votre bateau, doivent être stockés dans un local sec et à une température de l'ordre de 18°C. Ces contraintes sont les mêmes que celles imposées par l'emploi des résines époxydes. Rappelons que le bois ne s'entrepose pas verticalement mais à plat pour qu'il ne se déforme pas. De plus, le bois doit être ventilé sur toutes ses faces.

Pour obtenir un collage correct, l'adhésif doit d'une part pénétrer le support — c'est le pouvoir mouillant — et garder sur le plan de

#### Mastic prêt à l'emploi lci, le mastic époxy haute densité est vendu sous forme de deux pâtes à mélanger : une résine et



un durcisseur.

Surface propre indispensable L'application de la résine faiblement chargée pour le collage doit s'effectuer sur une surface dégraissée previablement à l'acétone.



Une pression raisonnable la presion de collage ne doit pas line max importante. Les excédents de colle sont enlevés à la spatule.



collage un film de liant suffisant.

Les qualités des résines époxy englobent ces critères mais, comme précédemment, la réussite du collage dépend de la mise en œuvre. Pour pénétrer le support, les surfaces à coller doivent être suffisamment imprégnées. Dans le cas de bois très poreux ou lorsque les pièces à assembler présentent du bois de bout qui risque d'absorber beaucoup de résine, il est nécessaire d'opérer en deux temps :

- mise en place d'une couche d'imprégnation sur les surfaces à assembler,

- couche de collage chargée 15 minutes plus tard.

Pour éviter cette imprégnation à 15 minutes d'intervalle, il est possible d'imprégner en début de construction tous les bois poreux, notamment les panneaux de CP sur les deux faces. Cette opération s'exécute avant même la découpe des pièces. C'est avec un rouleau ou éventuellement une grande spatule que la résine (jamais diluée) est étalée sur les supports. Il est important que la résine soit bien fluide, donc suffisamment chaude (25°C), pour bien pénétrer le matériau. Le bois aura tendance à "dégazer", c'est-à-dire à laisser s'échapper l'air retenu entre les fibres. Pour limiter ce phénomène, il est conseillé de travailler en température décroissante (voir les conditions d'utilisation des résines époxy). Le collage s'effectuera lorsque cette couche sera polymérisée, il faudra alors poncer les surfaces à coller avec un abrasif à sec (grain 120), les dégraisser à l'acétone et appliquer la résine légèrement chargée.

Afin de garder un film de colle entre les pièces à assembler, la pression de collage ne doit pas être excessive. Elle peut s'effectuer par simple calage, vissage, cloutage ou à l'aide de presses en cherchant simplement à mettre les pièces en contact. L'un des intérêts de l'époxy est d'accepter des épaisseurs de colle importante sans nuire à la qualité mécanique du collage. Cela permet des erreurs dans les assemblages et des plans de joints moins parfaits qu'avec les autres types de colle. La résine étant plus chère que le bois, les erreurs d'assemblage doivent rester petites pour limiter les coûts.

Il est bon de nettoyer les excédents de colle avant la polymérisation à l'aide d'une spatule puis d'un chiffon imbibé d'acétone.

La pression de collage doit être exercée généralement pendant 24 heures à 18° C avec un durcisseur lent (se reporter à la fiche technique du fabricant de résine).

La résine pour le collage du bois est chargée en faible quantité de silice colloïdale et de micro-fibres (voir les charges). La silice augmente la viscosité du mélange et les micro-fibres comblent les défauts de surface. Les quantités de charge sont nettement plus faibles que pour confectionner un mastic. Il suffit de 30 ml de silice et 80 ml de micro-fibres pour 150 ml de mélange résine/durcisseur. Là encore, le constructeur amateur peut charger sa résine avec une poudre pour le collage, qui est d'ailleurs la même que pour les mastics haute densité (voir les charges).

Il faut compter en moyenne 250 g à 300 g de résine par mètre carré de surface à coller.

Dans une construction CP/époxy, il est inutile de laisser les vis, les clous et les agrafes qui ont pu tenir les éléments en place pendant le collage. En effet, ces vis et ces autres accessoires de maintien apportent peu de résistance supplémentaire au collage. Le pouvoir adhésif de l'époxy étant excellent, la résistance du collage est supérieure au matériau lui-même. En cas de rencontre avec un caillou ou un bordé adverse, le panneau de CP cassera avant le collage.

De plus, en cas de réparation éventuelle, une vis noyée dans la résine ou invisible sous un mastic, ne peut être démontée. Il est alors impossible de travailler le bois avec des outils de coupe sans risquer de les détériorer.

De même, les clous, enfoncés à force, ont tendance avec certaines espèces de bois à ressortir en éclatant la couche de protection extérieure, permettant alors à l'eau de s'infiltrer dans le bois. Ce phénomène était observable sur les ponts vernis cloutés ; autour de chaque clou, une tache noire était visible signe du pourrissement du bois. Cette technique est d'ailleurs maintenant abandonnée.

Il faut considérer les vis comme des ustensiles de fixation temporaire et savoir qu'une structure bien échantillonnée et correctement mise en œuvre doit se passer de vis. Une fois les assemblages collés, les vis seront démontées et les trous rebouchés au mastic époxy "haute densité" (voir les charges).

## LES JOINTS-CONGÉS

Actuellement, de plus en plus employé par les chantiers navals pour la construction, le système de collage par joint congé désigne une méthode d'assemblage des panneaux de CP. Un joint congé est constitué de résine époxy chargée et appliquée en cordon arrondi dans l'angle formé par les deux pièces de CP à rendre solidaire. La liaison en mastic époxy remplace le tasseau de bois assurant la liaison entre les panneaux de CP dans la construction CP sur ossature bois. Cette technique de fabrication facilite l'assemblage des pièces en supprimant les équerrages complexes (fig. b2). Le joint congé est parfois renforcé par l'adjonction d'un ou de plusieurs tissus stratifiés. Il est caractérisé par la nature du mastic époxy (voir les charges), son rayon et son renfort en stratifié. Un joint congé correctement échantillonné soumis à un test de rupture doit casser en dehors du plan de collage : sa résistance est supérieure au matériau (fig. b3).

Le mastic époxy servant à réaliser le joint congé peut être de basse ou de haute densité (voir les charges). Pour une résistance donnée, un joint congé basse densité aura un rayon supérieur au joint congé "haute densité" (**fig. b4**).

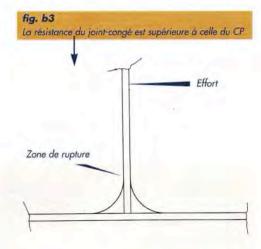
#### Le joint congé

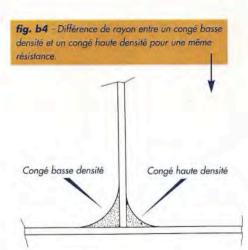
Ce cordon arrondi de résine chargée permet une liaison solidaire entre deux pièces de CP.

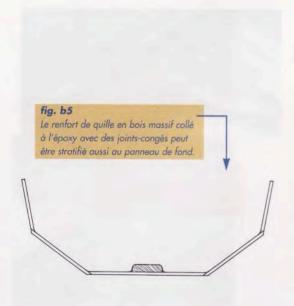


Fig. b2
En arrondissant l'angle entre les deux pièces, le joint congé reprend les efforts sans cisaillement.

Joint-congé







Le **tableau ci-dessous** donne la valeur des rayons en fonction de l'épaisseur des panneaux de CP marin. Un joint congé "haute densité" est souvent préférable car il sera moins "gourmand" en résine et son prix de revient sera donc moins élevé. Ceci est surtout valable pour les fortes épaisseurs de CP car lorsque le matériau est fin (jusqu'à 6 mm), la différence de rayon est faible.

### Valeurs des rayons des joints-congés en fonction de l'épaisseur des panneaux de CP

Epaisseur du CP en mm	Rayon du joint-congé haute densité en mm	Rayon du joint-congé basse densité en mm		
4	15	20		
5	18	25		
6	21	30		
8	25	40		
10	28	50		
12	30	60		
15	32	75		

Lorsque le rayon est important, la résine polymérise en masse car la réaction est exothermique, il est conseillé d'effectuer les mélanges avec un durcisseur lent. A 20°C, lorsque le rayon est supérieur à 25 mm, il ne faut plus prendre le durcisseur rapide et éventuellement réaliser le joint-congés en deux, voir trois passages.

Avec la construction CP/époxy, il est possible d'utiliser aussi des tasseaux de bois massif pour lier les panneaux. En fait, un renfort en bois massif servira de plan de collage entre des pièces en CP à chaque fois que cela semblera intéressant, pour la conception, pour

## Mise en œuvre des joints-congés

Les parties à assembler sont ajustées et fixées à l'aide de dispositifs (vis, clous, points de colle chaude, agrafe...), permettant d'effectuer un travail sans déformation du plan de collage. Ici aussi, les vis et les autres systèmes de maintien sont provisoires et seront enlevés après la réalisation du joint congé (voir le collage). Avant de réaliser le joint congés, Il ne faut pas oublier de préparer le support (ponçage, dépoussiérage et dégraissage), de respecter scrupuleusement les proportions du mélange résine/durcisseur/charges et de vérifier les conditions de température et de l'hygrométrie. Un joint congé qui coule doit être chargé à la silice colloïdale.



1 Le mastic est déposé dans l'angle formé par les deux panneaux à assembler, soit directement à la spatule, soit à l'aide d'un sac en plastique épais dont un coin a été coupé pour former une douille de pâtissier.



2 Le joint est ensuite lissé à l'aide d'une spatule arrondie au rayon désiré. On effectue un passage à la spatule en biais pour étaler convenablement le mastic et vérifier que le cordon est continu. Les manques de mastic seront complétés.

la fabrication, pour la fixation future d'accastillage, pour une économie de résine en cas de gros rayon, etc. La construction CP/époxy, radicalement différente dans sa mise en œuvre, peut utiliser aussi les techniques de la construction CP sur ossature bois. Il est à noter qu'un bois massif liant deux panneaux peut aussi être renforcé par joints-congés, ce qui augmente encore la surface de collage et la résistance de l'ensemble. C'est le cas de certaines liaisons comme les serre-bauquières ou des contre-quilles (fig. b5).

## UNE FINITION SOIGNÉE INDISPENSABLE

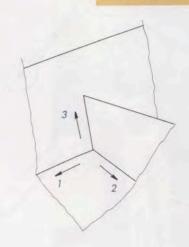
Les joints-congés doivent être propres et bien lissés pour une question d'esthétique d'une part et pour permettre une mise en place correcte des tissus sur les joints renforcés par stratification d'autre part. Certains vendeurs de résine époxy préconisent de disposer de chaque côté du congé un ruban de masquage qui délimitera la taille de l'arrondi et permettra un nettoyage des panneaux. Avant que le mastic ne polymérise, il suffira de décoller le ruban adhésif pour obtenir un joint congé propre et régulier. Cette technique toutefois demande du temps pour appliquer le ruban aux bonnes dimensions, notamment sur des petites distances ou des endroits peu accessibles. Il est indispensable pour réussir d'avoir une corrélation entre le placement des bandes et le rayon de la spatule. Si le constructeur ama-

congés visibles où l'esthétique a de l'importance.

Nota : lors de la mise en place d'une cloison sur les bordés, nous avons trois panneaux de CP dans trois plans différents. Les trois joints-congés sont réalisés en faisant partir pour chaque liaison la spatule du point d'intersection des trois plans (fig. b7).

teur se sent à l'aise avec cette méthode, il peut l'utiliser sur des joints-

fig. b7 Collage par jointscongés de 3 pièces de CP. Pour réaliser un travail propre, commencer toujours des congés du point d'intersection vers l'extérieur.



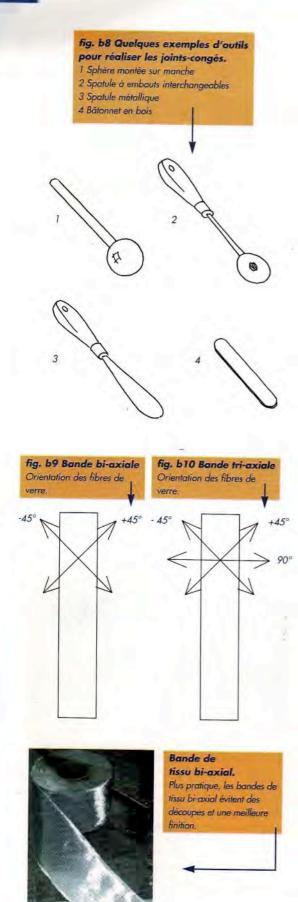
3 On réalise ensuite un passage de finition avec la spatule perpendiculaire au cordon afin d'obtenir le rayon exact désiré.



4 Les surplus de mastic qui se sont déposés sur les bords du congé sont récupérés à l'aide d'une spatule plate. Il est conseillé de disposer d'une autre spatule destinée à nettoyer les deux autres et à récupérer les excédents de mastic.



5 Le cas échéant – notamment sur les bouchains –, la pose d'un tissu bi-axial est nécessaire pour renforcer structurellement le joint-congé. Deux solutions s'offrent au constructeur. Soit il attend que le joint-congé ait séché auquel cas celui-ci devra être poncé puis dégraissé avant d'appliquer la résine. Soit il applique la résine et le tissu une heure après la dépose du joint-congé pour que celui-ci commence juste à durcir. Cette dernière méthode s'avère plus rapide et moins fastidieuse sans pour autant que la liaison perde ses qualités mécaniques.



#### • Outils de lissage

Il est possible d'utiliser divers types d'outils pour effectuer ce lissage : spatule en métal, spatule en plastique, bâtonnet abaisse langue, porte cale interchangeable, sphère... (fig. b8). Le constructeur amateur doit en essayer de plusieurs types avant de trouver celui qui lui correspond le mieux. Une certaine élasticité de la spatule est souvent appréciée des utilisateurs, les spatules en métal avec manche en bois sont les mieux adaptées à ce travail, leur nettoyage est facile.

## Stratification des joints-congés

Pour renforcer un joint congé, il est nécessaire de le stratifier avec un ou plusieurs tissus en fibre de renfort. Ces congés renforcés ont une surface d'assemblage augmenté et résistent donc mieux aux efforts de cisaillement. Ils correspondent à des liaisons structurelles : les bouchains, les varangues, certaines cloisons au niveau du mât ou des cadènes de haubans.

Souvent, les joints-congés des fonds du bateau sont stratifiés, les autres, visibles ne le sont pas systématiquement pour économiser le travail de finition. Le constructeur amateur doit respecter les indications de l'architecte afin d'éviter une liaison trop faible entraînant un manque de cohésion de l'ensemble du bateau, ou inversement des liaisons trop lourdes et trop coûteuses.

Les tissus employés pour consolider les joints-congés sont en verre (voir stratification de la coque). Les tissus préconisés sont des bi-axiaux à 45° appelés encore bi-biais (*fig. b9*). Ils se présentent en bande de différentes largeurs, de 5 cm à 30 cm environ, vendues en longueur de 100 m ce qui permet de stratifier des bordés sur toute leur longueur. Les avantages de ce tissage sont principalement : une facilité de mise en œuvre au niveau des courbes, un bon travail de toutes les fibres, contrairement à un roving classique où les fibres dans l'axe du joint-congé sont inefficaces et une inclinaison de la fibre à 45° qui augmente sa longueur et permet un rayon de courbure agrandi sur le joint congé.

Nous trouvons des bandes de 100 g/m² à 600 g/m² pour des bateaux de 4 m et plus. Sur les constructions importantes, les tissus sont appliqués en plusieurs largeurs croissantes pour renforcer la résistance des joints-congés sur les bouchains.

Des architectes prévoient l'utilisation de bandes de tissus tri-axiaux transversaux : les fibres sont disposées à plus 45°, moins 45° et 90° (fig. b10). Ces tissus ont une orientation de fibres en plus qui travaillent perpendiculairement au joint, ce qui augmente encore la résistance de l'assemblage. Malheureusement, il est relativement difficile de se les procurer en bande. Ils sont fabriqués au coup par coup à la demande des chantiers. L'amateur risque d'avoir des difficultés pour se procurer ces tissus. En cas de problème d'échantillonnage, il faut prendre contact avec l'architecte du bateau.

#### Mode opératoire

Le joint-congé étant polymérisé, il est nécessaire de le poncer avant d'appliquer le tissu. Cette opération est souvent fastidieuse, notamment sur les joints-congés haute densité qui contiennent de la silice. La zone à stratifier est aussi dépoussiérée et dégraissée.

Pour éviter ce pensum, il est possible de stratifier le congé lorsqu'il commence juste à durcir. Il faut compter environ une heure entre la réalisation du joint-congé et la stratification, suivant la température de l'atelier et le type de durcisseur.

Prévoir en moyenne le même poids de résine que le poids de tissu. Là encore, l'utilisation de la balance est indispensable.

Il convient ensuite d'imprégner les bandes de tissu, il existe deux techniques principales. La première consiste à mouiller avec de la résine le joint congé et le CP. Pour étaler la résine, nous utilisons un pinceau ou un rouleau type "patte de lapin". La bande de tissu est ensuite déroulée sur le joint et débullée au fur et à mesure. Si des manques de résine sont détectés, il faut en remettre. Cette façon de procéder est intéressante pour les grandes longueurs comme les stratifications de bouchains. La seconde technique utilise un glacis, c'està-dire une surface non absorbante style mélaminé enduite de résine. La bande de tissu à stratifier est découpée puis imbibée sur le glacis. Transporté et déposé sur le joint congé, le tissu est ensuite débullé. Cette technique est valable pour les petites longueurs où les manipulations de tissu imprégné sont possibles. Elle économise la résine car seule la zone, où se trouve la bande, est mouillée. Attention : tous les rouleaux débulleurs ne sont pas prévus pour la résine époxy.

Les bordés des coques CP assemblés par joints-congés peuvent être stratifiés à l'intérieur et à l'extérieur suivant les données du concepteur. Une stratification extérieure se pratique sur un CP imprégné avec un angle du bouchain arrondi pour l'application des tissus. Lorsque les joints-congés demandent une finition de qualité, il est sou-

Lorsque les joints-congés demandent une finition de qualité, il est souhaitable d'utiliser des tissus d'arrachage. Les joints-congés stratifiés sont recouverts d'enduit pour rattraper la surépaisseur du tissu.

### STRATIFICATION DE LA COQUE

La stratification d'une coque en CP est optionnelle et n'est pas structurelle, sauf indication contraire de l'architecte. Il s'agit surtout de protéger le CP des chocs et de l'abrasion. C'est en quelque sorte un revêtement de surface pour améliorer les caractéristiques du matériau. Ce travail améliore la finition et se réalise la coque à l'envers.

Cette stratification du CP augmente peu le poids de la coque et assure une bonne protection. Les opposants à ce revêtement parlent de délaminage possible, ce qui nous paraît peu probable vu l'excellent pouvoir adhésif des résines époxydes. Evidemment, en cas de choc violent, une inspection détaillée est préférable. En revanche, ce travail demande du temps, des matériaux, et coûte donc de l'argent.

#### Imprégnation d'un bi-axial sur un glacis.

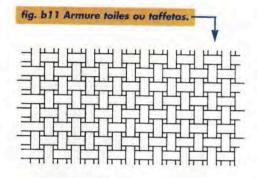
Cette technique ne peut pas être utilisée pour les grandes longueurs.



## Une belle finition Joints-congés recouverts d'enduit pour

rattraper la surépaisseur du tissu.





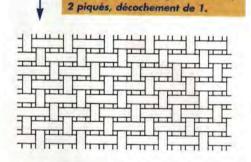
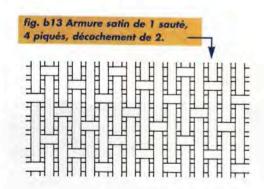


fig. b12 Armure sergé de 1 sauté,



La stratification avec de la résine époxy peut utiliser différents per fibres de renfort : verre, aramide (kevlar) et carbone. Dans ce con cis de travail, la fibre de verre semble offrir suffisamment de résiste par rapport à son prix pour être retenue. Il existe plusieurs qualités ce fibre de verre : le verre E, le plus couramment utilisé, et le verre S ou R, mis au point pour l'aérospatiale, plus cher mais qui possède une excellente résistance aux chocs, propriété intéressante pour renforcer un bordé en CP. Le choix de la qualité du verre se fera en fonction du budget du constructeur et des possibilités d'approvisionnement.

Les fibres de verre qui forment les tissus peuvent être ou non torsadés. Les tissus obtenus avec des mèches torsadées sont appelés silionnes. Ils ont des tissages plus serrés et plus fins, ils absorbent moins de résine et sont adaptés aux résines époxydes.

Un tissu de renfort, outre sa nature, est défini par son type de tissage appelé armure. Celle-ci définit la façon dont les fils de chaîne et de trame sont entrelacés entre eux. Un "sauté" correspond au passage du fil trame au-dessus du fil de chaîne ; un "piqué" correspond au passage du fil de trame sous un fil de chaîne ; enfin, le décalage de la ligne suivante est appelé le "décochement".

L'armure la plus simple est l'armure toile ou taffetas : un sauté, un piqué et un décochement (fig. b11). Ce type d'armure se déforme peu et se manipule facilement lors de sa mise en place. Elle accepte difficilement les surfaces courbes car les fibres ne peuvent pas glisser les unes par rapport aux autres. Par contre, c'est l'armure idéale pour recouvrir des surfaces développables comme des bordés en CP. Il existe d'autres types d'armures disponibles en tissu de verre, les sergés et les satins. Les sergés ont pour un sauté de un, un piqué variable, généralement deux, trois ou quatre, et toujours un décochement de un. Cette armure donne l'impression de partir en diagonale (fig. b12). Le sergé est plus souple que le taffetas mais sa manipulation reste facile. Une fois stratifiée, la résistance mécanique du sergé est meilleure que celle de la toile.

Les satins sont des armures beaucoup plus lâches grâce au décochement supérieur à un, mais n'offrent pas d'intérêt pour la stratification d'une coque en CP (fig. b13).

Depuis une dizaine d'années, les fabricants proposent aussi des tissus, bien adaptés à la construction navale, comme des bi axiaux, les triaxiaux... La stratification de la coque n'étant pas, comme nous l'avons dit précédemment, structurelle, l'emploi de ces tissus plus chers n'est pas intéressant.

Avant d'utiliser un tissu, il est important de savoir s'il est compatible avec les résines époxydes. En effet, lors de la fabrication du verre, les fibres subissent un traitement appelé ensimage qui permet notamment au verre d'absorber la résine. Il existe plusieurs types d'ensimages et ils ne sont pas tous prévus pour les résines époxydes. En cas de doute, il est préférable de réaliser des essais sur des chutes

de CP: si nous arrachons un tissu dont l'ensimage est approprié, les fibres du bois viendront avec le tissu. Si l'ensimage n'est pas prévu pour l'époxy, le décollement se produira à l'interface bois-tissu.

Les tissus sont vendus en différentes largeurs de l'ordre de 1 m. Ils doivent être stockés en rouleau pour éviter les plis qui risqueraient de rester marqués lors de la stratification. Ils seront entreposés à l'abri de la poussière dans un sac en polyane ou dans une salle propre. Il faut se méfier aussi des variations de températures qui peuvent provoquer de la condensation sur les tissus. La présence d'eau est nuisible au moment de la stratification.

#### Mise en œuvre

Il est déconseillé d'utiliser plusieurs fois à la suite le même récipient pour mélanger la résine et qu'il faut connaître le poids de résine à mélanger. Ce poids est fonction du poids du tissu : compter en général autant de poids de résine que de poids de tissu (se reporter aux indications du vendeur).

Lorsque le durcisseur et la résine sont mélangés, le temps est compté pour réaliser la stratification. Il faut donc tout prévoir à l'avance. L'ordre des tâches à réaliser peut se diviser en trois grandes étapes. D'abord la découpe des tissus à la bonne dimension. On peut pour cela utiliser un feutre pour faciliter la découpe du tissu. Ensuite, on prépare tout l'outillage : pinceaux, rouleaux, débulleurs, ciseaux, (la taille des rouleaux et des débulleurs est fonction de la surface à stratifié), puis prévoir les récipients pour effectuer les mélanges. Ce n'est qu'alors que la résine sera mélangée au durcisseur.

Le mode de stratification est classique : une passe au rouleau pour mouiller la surface, l'application du tissu puis le débullage. La stratification ayant juste un but de protection, un recouvrement des tissus est inutile, il suffit de les poser bord à bord.

Un tissu d'arrachage est vivement conseillé. Le temps de pose de ce tissu est certes non négligeable, mais le temps passé est largement gagné aux travaux de finition. Le rôle de ce tissu est double. Il donne d'abord, grâce à son tissage très fin, un aspect de surface excellent. De plus, il absorbe le surplus de résine et limite le poids de la stratification. Il convient d'appliquer le tissu d'arrachage avec soin, d'éviter les plis et les bulles pour profiter au maximum de son intérêt.

Pour les bateaux de taille importante, il est intéressant de travailler à plusieurs ; prévoir une équipe pour étaler la résine et la pose des tissus, une pour le débullage et une pour le tissu d'arrachage, une personne qui mélange la résine et le durcisseur.

Le travail seul ou à deux est aussi envisageable. La stratification ne nécessitant qu'une couche de tissu, le travail peut être mené petit à petit et arrêter même si la coque n'est que partiellement stratifiée en respectant un cycle complet : application de la résine, mise en place du tissu, débullage, pose du tissu d'arrachage.

#### Ne pas plier les tissus

Stockés en rouleau pour qu'ils ne soient pas abîmés, les tissus doivent aussi être découpés et appliqués avec soin pour éviter les plis et garder une trame parfaite.



#### Rouleau à poils courts

Une fois le tissu en place sur le CP mouillé, on passe le rouleau type patte de lapin imbibé de résine. Le tissu doit devenir alors translucide.

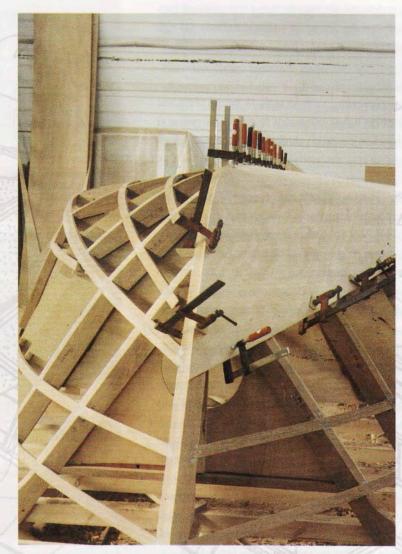


#### Un tissu pour la finition

Pour obtenir un surfaçage relativement lisse, l'application d'un tissu d'arrachage est vivement conseillée même si son application demande du temps supplémentaire.







hanneau Le acejou 352 doublante d'a CPM 10029

Loublante de noinch PM 160×12

25×25

# RÉALISATION D'UNE COQUE EN CP SUR OSSATURE BOIS

Pour que le résultat d'une construction en contreplaqué soit réussi, il convient d'apporter un soin particulier à toutes les étapes de la construction. De ce soin dépendra autant le plaisir du constructeur amateur d'avoir réalisé un bel objet que la longévité du bateau à la mer et dans le temps.

Particulièrement longues et éprouvantes, du fait d'une impression de "ne pas avancer", les premières étapes, qui réunissent la préparation du châssis et la découpe des éléments, revêtent une importance extrême quant à la facilité et à la rapidité de l'assemblage de la coque comme du pont. Il vaut donc mieux perdre quelques journées pour soigner cette partie "préparatoire" plutôt que plusieurs semaines à réajuster voire refaire un élément du bordé ou une cloison.

Le dossier de plan donné par l'architecte prend ici toute son importance. Sa précision et le soin apporté aux descriptions des détails faciliteront d'autant le travail de l'amateur qui évitera ainsi de longues heures à se poser des questions sur la réalisation de tel ou tel élément. De ce fait, l'architecte devra maîtriser parfaitement le processus de mise en œuvre et être souvent à l'écoute du constructeur néophyte.

## LE CHÂSSIS

La coque est généralement construite à l'envers et bordée sur un "moule" ou mannequin constitué d'un certain nombre d'éléments de structure et d'aménagement faisant partie intégrante de la coque. Ces éléments vont être dressés sur un marbre aussi appelé bâti ou châssis, qui va constituer la référence horizontale de la coque durant toute sa construction (fig. 5-1).

Ce châssis, constitué pour l'essentiel de madriers longitudinaux de fortes sections, doit être parfaitement dressé à l'horizontale, plan et rigide. Afin qu'il ne puisse bouger pendant toute la durée de la construction, il devra être solidement ancré au sol.

Ce châssis pourra présenter une forme de rectangle, avec deux madriers parallèles si l'on recherche la simplicité, ou une forme de trapèze si l'on souhaite réduire son encombrement au sol et faciliter la circulation (**fig. 5-2**).

Sur ce châssis sera matérialisé l'axe de symétrie de la coque, soit par une corde à piano tendue, soit par tracé sur planche axiale (fig. 5-3). On tracera enfin sur la face de référence des madriers (le dessus) la répartition longitudinale des sections transversales de construction données sur les plans (fig. 5-4), celles des cloisons structurelles d'aménagement en contreplaqué, et des gabarits provisoires en agglo épais.

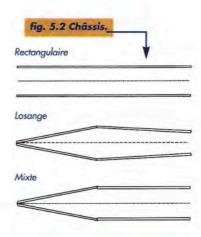


fig. 5.3 Planche axiale ou corde à piano ?

Le tracé sur planche axiale, en plus de la matérialisation de l'axe de symétrie, va faciliter le report sur les madriers de la répartition des sections (par la méthode "du compas"), contrairement à la corde à piano (fil tendu). La planche axiale est danc vivement conseillée dans le cas d'un châssis en losange. Pour un châssis rectangulaire, la planche axiale n'est pas indispensable, puisque les modriers étant parallèles, le tracé peut être réalisé sur l'un puis reporté sur l'autre.

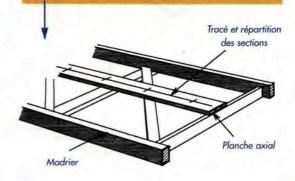
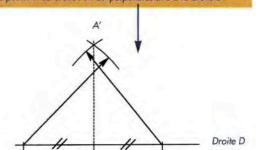
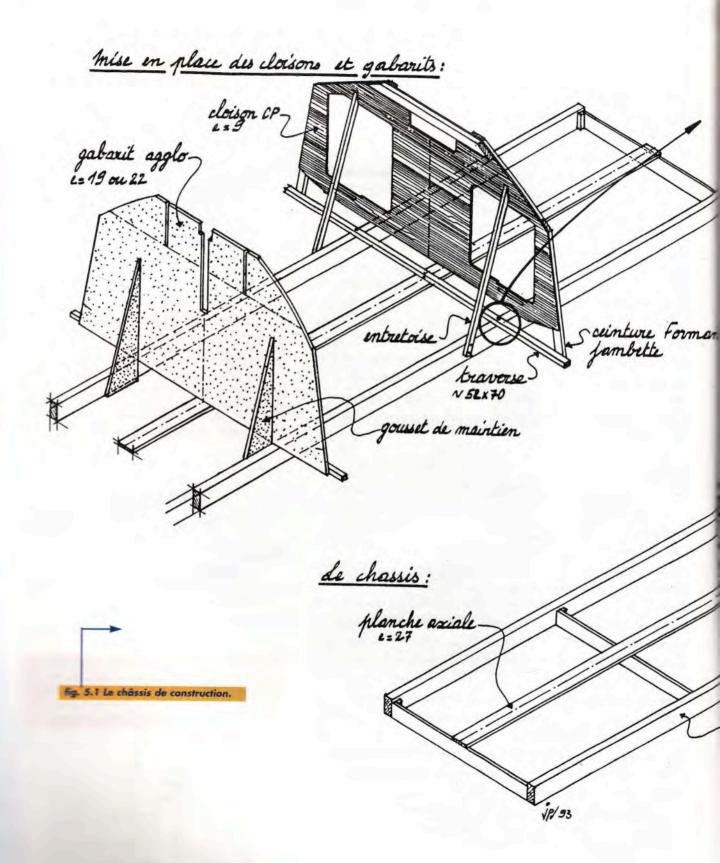
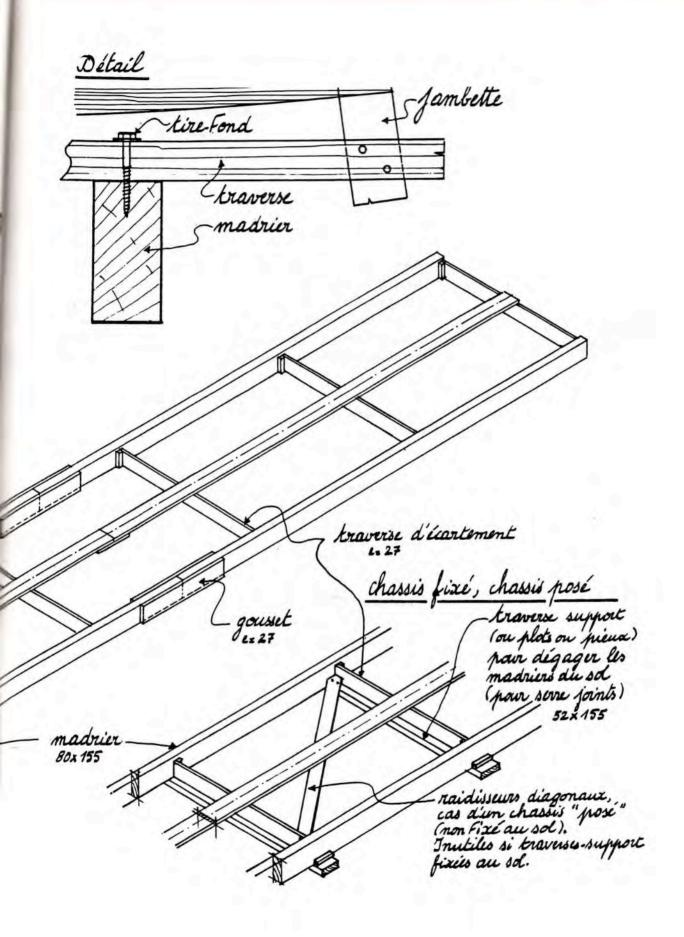


fig. 5.4 Elever une perpendiculaire à une droite. Sur la droite D, tracer 2 points équidistants du point A. À l'aide d'une latte équipée de pointes "le compas", tracer un arc de cercle centré sur chaque point. L'intersection des 2 arcs, donne le point A'. La droite AA' est perpendiculaire à la droite D.







# Flottaison.

# TRACES ET DÉCOUPES DES CLOISONS ET GABARITS

#### Utilisation du tableau de cotes

Les cotes des sections transversales de construction sont données sur les plans, généralement dans un tableau de cotes. On y trouvera les coordonnées des points caractéristiques de chaque section (quille, bouchains, livet, sommet du bouge), mesurées à partir d'un système d'axes perpendiculaires généralement constitués de la flottaison comme référence horizontale, et de l'axe de symétrie comme référence verticale. Chaque point caractéristique pourra donc être déterminé à partir de deux cotes : sa hauteur par rapport à la flottaison (précédée par un signe moins s'il s'agit d'un point situé sous la flottaison), et sa largeur (ou "bau"), mesurée à partir de l'axe de symétrie.

Certains points complémentaires seront donnés sur le tableau de cotes comme ceux du rond que présentent les sections d'un bordé à développement conique : ces cotes seront données soit sur des lignes d'eaux (parallèles à la flottaison), soit sur des verticales (parallèles à l'axe de symétrie), soit sur des diagonales, droites obliques parallèles entre elles dont l'inclinaison est prédéfinie (ex : diagonales "à 45°").

Les précisions concernant ces tracés figurent sur les plans ou sur la brochure de construction qui l'accompagne. Les cotes sont généralement données en mm avec une précision du 1/2 mm.

#### Réalisation des tracés de référence

Les tracés ne sont pas réalisés directement pour chaque section considérée, ce serait trop long. On opte généralement pour un tracé d'ensemble sur un support provisoire qui sert à reporter ensuite le tracé correspondant à chaque section de construction sur son panneau ou élément de panneau respectif.

Ainsi les tracés pourront être réalisés sur des panneaux de CP mince (e = 3 ou 4 mm), un pour les demi-sections arrières, l'autre pour les demi-sections avant. Ces panneaux serviront à la fois de tracés de référence et de "gabarits de reports des tracés" sur les CP de cloison ou les agglo des gabarits (fig. 5-5).

Sur ces panneaux, on matérialisera non seulement l'axe de symétrie et la flottaison, mais aussi le niveau de référence du châssis, qui sera à une distance constante de la flottaison. L'idéal est d'utiliser un bord vertical du panneau comme axe de symétrie et un bord horizontal comme référence du châssis, après s'être assuré que ces bords sont bien d'équerre. Les cotes données déterminent un tracé qui, sauf spécification contraire, est "hors œuvres", c'est-à-dire qu'il correspond à l'extérieur du bordé. Il faudra donc réaliser un tracé intérieur et parallèle au premier, distant de l'épaisseur des bordés à déduire, pour obtenir le tracé effectif de découpe des cloisons et gabarits. C'est vite réalisable avec des sections de bordés rectilignes, mais ça l'est aussi pour les

parties courbes. Il suffit de se guider sur une latte cintrée de largeur correspondante à l'épaisseur du bordé à déduire, latte plaquée contre quelques pointes fines fichées sur le tracé initial (fig. 5-6).

## Reports des traces sur les cloisons et gabarits

La technique de report est simple : il suffit de placer le gabarit de tracé sur l'élément concerné, de le clouer en place à l'aide de pointes fines implantées sur les tracés (intérieur des bordés mais aussi axe de symétrie et flottaison) (fig. 5-7). On retire alors le gabarit de tracé (les pointes restent dans l'élément ou sinon y ont laissé leurs empreintes). On trace alors la demi-section à partir des pointes ou marques restantes. On retourne le CP mince pour y repérer les trous laissés par les pointes à tracer sans tête traversant le CP mince (on les cercle au bic de couleur), puis on le repositionne sur l'élément à tracer en faisant bien coïncider axe de symétrie et flottaison, pour réaliser le tracé de la demi-section symétrique en procédant comme auparavant, mais par un clouage cette fois dans les trous cerclés précédemment. Pensez à changer de couleur de stylo à bille pour des sections voisines afin d'éviter toute confusion. Vous trouverez au chapitre 5 du hors série 27 d'autre techniques de reports des tracés.

#### Le tableau arrière

Le tableau, lorsqu'il est plan et vertical, s'apparente à une cloison transversale. Mais il peut également être prévu courbe et incliné. Dans ce cas il sera réalisé en plusieurs épaisseurs de CP moulé, contrecollées sur un moule spécifique. Pour plus d'informations, voir le chapitre 8 du hors série n° 27.

## Tracés des découpes intérieures

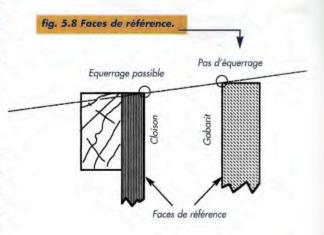
Les tracés des découpes intérieures des cloisons (découpes de mobilier) sont ensuite réalisés suivant les spécifications des plans (les cotes sont elles aussi généralement données par rapport à l'axe de symétrie et à la flottaison). Si les gabarits en agglo sont directement découpés dans les panneaux, pensez à réaliser des évidements pour faciliter la circulation à l'intérieur (nécessaire pour essuyer les coulures de colles consécutives à la pose des bordés). Notez que ces gabarits peuvent être constitués par plusieurs bandes d'agglo préassemblés par goussets collés vissés : c'est plus économique. Les cloisons et gabarits sont ensuite découpés à la scie sauteuse.

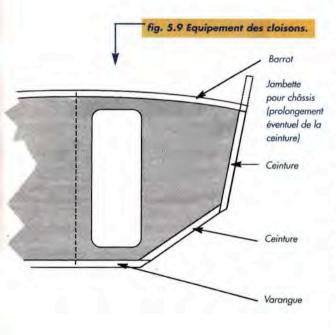
# Remarques concernant les "faces de références"

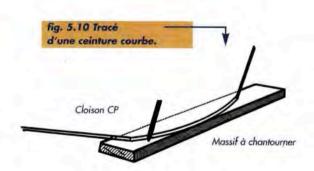
Notez pour finir que les tracés de découpes des sections correspondent, pour les cloisons en CP, aux faces tournées vers la maîtresse section du bateau (c'est-à-dire la face la plus large après l'équerrage qui sera opéré ultérieurement), et à l'inverse, aux faces opposées pour les gabarits provisoires en agglo (pas d'équerrage, seule une arête d'appui suffit) (fig. 5-8).











# Techniques "Pro"

Dans le cas d'une construction professionnelle, les éléments sont tracés à partir de gabarits spécifiques en CP mince, réalisés à partir des pièces d'origines de la première unité fabriquée. Parfois, on utilise des gabarits de découpe pour défonceuse surtout pour des découpes intérieures comme des ouvertures d'équipets : c'est plus rapide et surtout plus "propre" qu'à la scie sauteuse. Notez enfin que certains constructeurs confient la découpe des éléments à des entreprises spécialisées, équipées de machines à découpe "laser" ou "jet d'eau" à commande numérique. L'intérêt est évidemment, dans une optique de petite série, d'avoir la possibilité de découper plusieurs éléments identiques en une seule fois, d'obtenir une découpe rigoureusement précise et soignée... et d'économiser de la main d'œuvre.

# ÉQUIPEMENTS DES CLOISONS, MEMBRURES ET GABARITS

#### Cloisons structurelles

Les cloisons d'aménagements, éventuellement constituées, suivant leurs formats, par plusieurs éléments assemblés par scarfs, feuillures ou rainures et fausses languettes (voir chapitre 3), doivent être équipées de divers bois de structures collés et parfois cloués ou vissés, suivant spécifications de l'architecte (fig. 5-9):

- au niveau des bordés latéraux : mise en place des ceintures. Dans le cas de bordés coniques, le rond est obtenu par chantournage après tracé de la découpe en plaquant le massif contre la cloison (fig. 5-10). Les ceintures des bordés supérieurs peuvent être prolongées au-dessus du pont jusqu'au niveau de référence qui correspond au-dessus du châssis de construction. Cela va permettre la mise en place (vissées ou boulonnées) des traverses de fixation des cloisons sur le châssis. On pensera à matérialiser sur ces traverses l'axe de symétrie qui facilitera le positionnement de la cloison en coïncidant avec la corde à piano ou le tracé axial du châssis. Pour cela, on pourra repositionner la cloison sur le tracé de référence.
- Au niveau des fonds : mise en place des varangues.
- Au niveau du pont : mise en place des barrots et barrotins de cloisons. Pour la réalisation des barrots lamellés, voir chapitre 2.

Si tous ces éléments sont à mettre en place sur la face opposée à la face de référence de la cloison, ils seront positionnés au ras de la découpe. Dans le cas contraire, ils devront déborder pour offrir la matière nécessaire à l'équerrage ultérieur (fig. 5-11a et 5-11b). C'est le cas notamment du tableau arrière, lorsque les ceintures sont prévues sur sa face avant. Ce débord éventuel est généralement donné sur les plans ; sinon il est facile à déterminer à partir d'une épure réalisée sur le plan de formes.

On peut compléter l'équipement des cloisons par certains autres éléments en bois spécifiés sur les plans, tels que les renforts de cadènes, les montants des façades structurelles qui vont être mises en place prochainement, voire assurer dès ce stade la pose de tous les tasseaux d'aménagements, même si ceux-ci n'ont pas un réel rôle structurel dans le processus de fabrication de la coque : c'est du temps de gagner par la suite, tant il est vrai qu'il est plus facile de travailler à plat à l'établi. Certains constructeurs n'hésitent pas à avancer les finitions et à prépeindre les cloisons.

#### Membrure

Bien que moins courant à l'heure actuelle, sans doute parce que les bateaux sont de nos jours globalement plus aménagés, la structure transversale peut être constituée au lieu de cloisons, de couples ou membrures composés de tasseaux reliés par goussets CP collés et cloués ou vissés (fig. 5-12). C'est, par exemple, un montage caractéristique de Pen Duick II d'Eric Tabarly. La préparation s'effectuera directement sur le tracé de référence des sections, et comme précédemment, on pourra utiliser comme jambettes le prolongement des membrures pour y fixer la traverse du châssis.

#### Gabarits

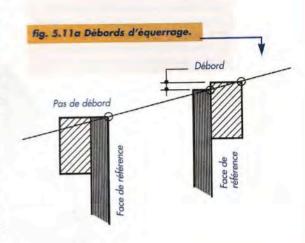
Les gabarits en aggloméré épais, prolongés eux aussi jusqu'à la ligne de référence du châssis, seront équipés de traverses pour les solidifier et pour éviter toutes déformations.

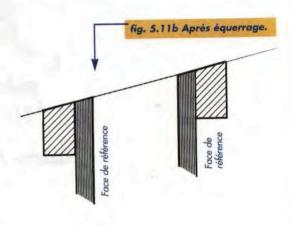
# PRÉPARATION DES FAÇADES ET ÉTAGÈRES STRUCTURELLES

Certaines façades ou étagères en contreplaqué, participant à la structure longitudinale de la coque cette fois, peuvent être préparées à ce stade, pour être mise en place en même temps que les éléments de la structure transversale. Cela permet une plus grande homogénéité de l'ensemble structurel ainsi que la réalisation d'une tache avec plus de facilité qu'une fois la coque bordée.

# MISE EN PLACE DES GABARITS PROVISOIRES DES CLOISONS ET DES FAÇADES STRUCTURELLES

Les éléments préparés sont dressés sur le châssis à leurs emplacements respectifs fixés aux madriers au moyen de tire fonds (fig. 5-13). La verticalité est contrôlée au fil à plomb ou au niveau à bulle et assurée par des entretoises obliques, ainsi que par des tasseaux d'écartement entre sections consécutives. Notez que la présence de façades longitudinales participe à la rigidité de l'ensemble (structure "caisson").





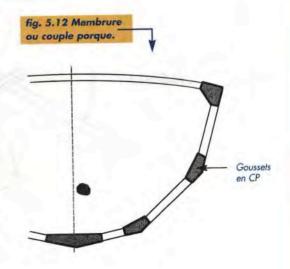
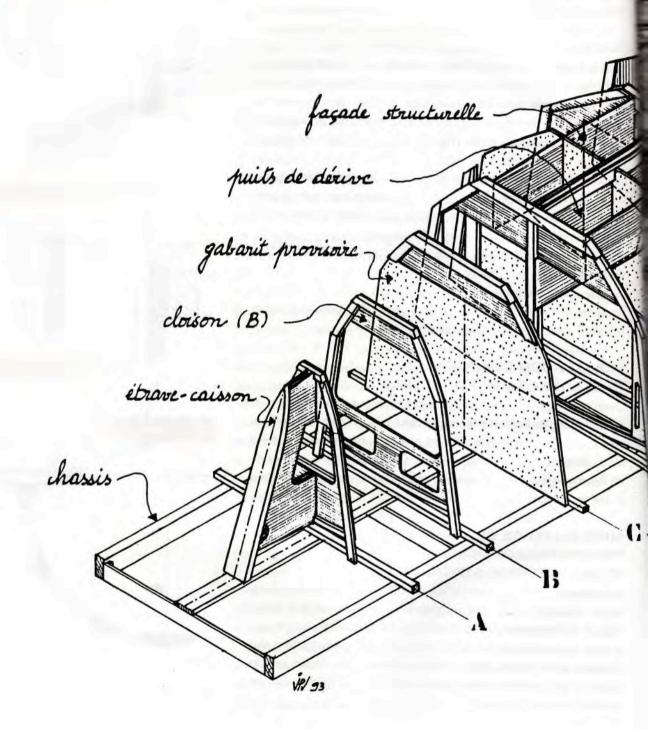


fig. 5.13 Mise en place des gabarits provisoires et des façades structurelles. N. B.: pour faciliter la compréhension du dessin, les entretoises de cloisons et les goussets de maintien des gabarits ne sont pas représentés.



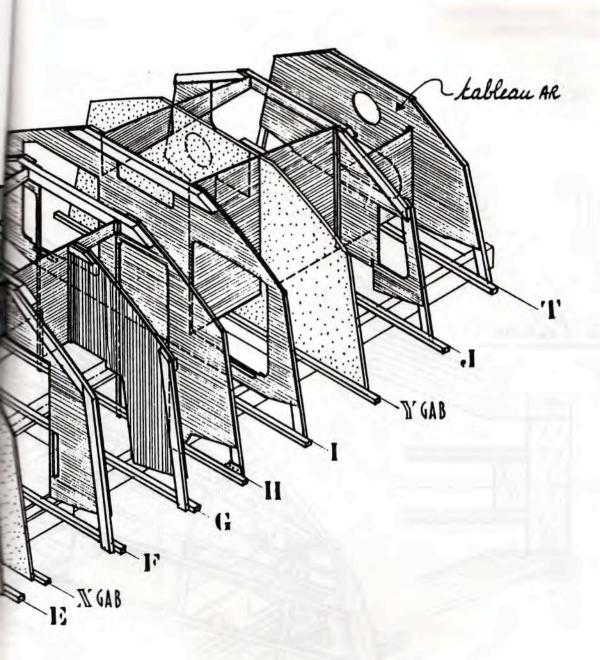
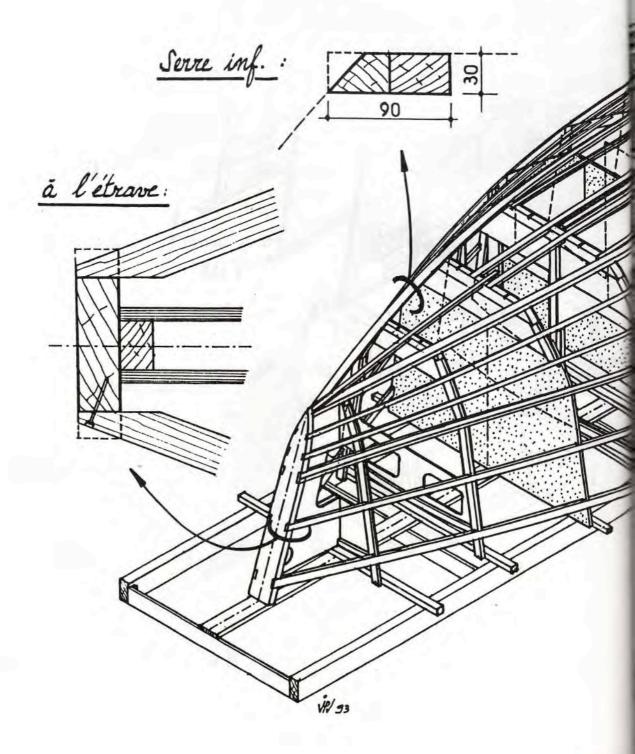
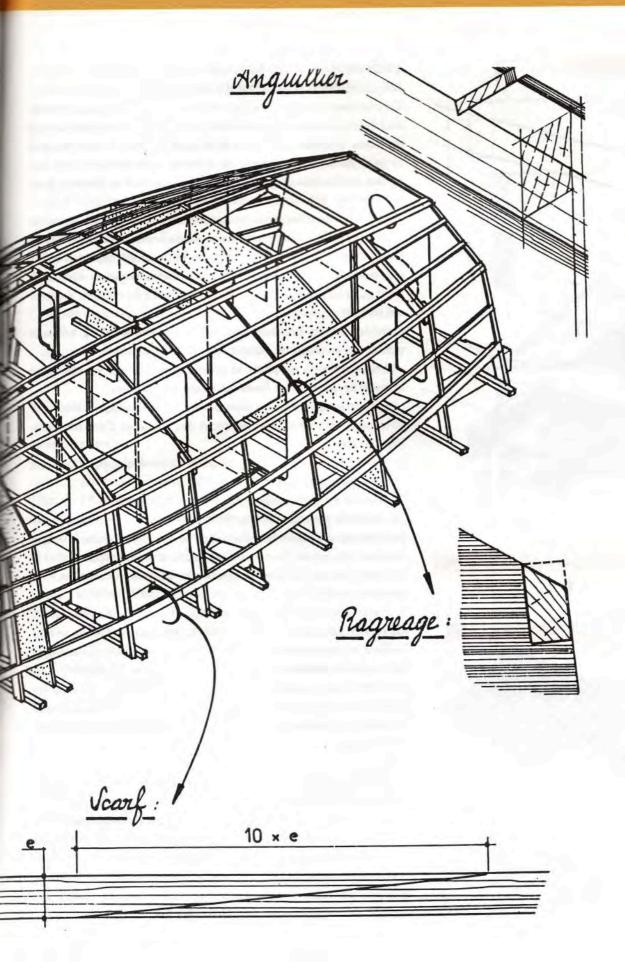
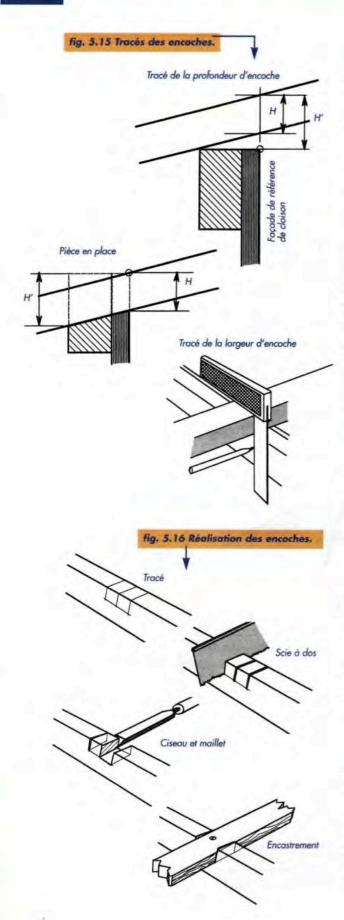


fig. 5.14 Ossature longitudinale.

Mise en place et ragréage.







# PRÉPARATION ET MISE EN PLACE DE L'OSSATURE LONGITUDINALE

On commence par l'étrave, en massif si elle est rectiligne, ou lamellé-collé sur un moule si elle est courbe. Elle sera découpée suivant les cotes données par l'architecte pour sa face arrière (la plus large!) voire même prééquerrée si les cotes de sa face avant sont également fournies (*fig. 5-14*). (Voir également le chapitre 8 du hors série n° 27).

On continue avec les serres bauquières au niveau du livet, les serres de bouchains, les lisses (renforts intermédiaires des bordés) et l'éventuelle quille (cas d'une unité à fond en V), qui sont préparées à leur tour avec des scarfs pour éléments de grandes longueurs, conformément aux plans et suivant les principes évoqués au chapitre 2 consacré au bois.

Cette ossature va être encastrée dans la structure en place, collée et clouée aux ceintures de cloisons et aux varangues :

- l'étrave est mise en place la première, puisqu'elle va elle-même recevoir les serres et les lisses qui y seront encastrées.
- l'ossature longitudinale est alors ployée sur le mannequin, tenue par serre-joints, afin de réaliser les tracés des encoches d'encastrement. (fig. 5-15).

Les encoches tracées sont alors découpées, généralement à la scie à dos puis au ciseau à bois (fig. 5-16).

La structure est alors collée et clouée ou vissée en place.

On procède généralement symétriquement sur un bord et l'autre, pour ne pas accumuler les efforts d'un seul coté et prendre le risque de gauchir le moule. Pour plus d'informations sur la préparation et la mise en place de l'ossature longitudinale, consultez le chapitre 9 du hors série n° 27.

La construction dite "sur lisses" n'est pas l'apanage des seules unités en CP sur ossature bois. En effet, dès que l'on recherche le meilleur compromis solidité - légèreté, on a recours à cette formule. Ainsi bon nombre de multicoques réalisés en CP époxy possèdent des lisses longitudinales en massif ployé conjuguées à un bordé de faible épaisseur. Par contre, la jonction des bordés aux bouchains se fait par joints-congés stratifiés et non sur serres en massif ployé.

# RAGRÉAGE DE LA CHARPENTE

L'ensemble de la structure va être équerré au rabot - électrique puis au rabot à main - pour offrir aux bordés des surfaces d'appui bien continues. C'est la structure transversale qui permet de définir les pentes d'équerrage de l'ossature longitudinale et inversement. Pour débuter le ragréage, on commence généralement par réaliser quelques pontades à la râpe aux intersections qui vont définir des repères avant de poursuivre au rabot (fig. 5-17).

On peut contrôler la qualité du travail en cintrant une latte sur les parties courbes ou en posant une règle sur les éléments rectilignes transversaux.

Une fois le ragréage terminé, il faut tracer et découper les éventuels anguillers de varangues (et pour la circulation de l'eau des fonds vers le point bas où sera installée la crépine de pompe de cale). Si leur implantation n'est pas spécifiée sur les plans, veillez à ne pas les situer à l'emplacement des futurs boulons de lest... On aura intérêt à protéger ces découpes dès maintenant, tant que l'accès y est facile, par exemple au moyen d'une imprégnation époxy. Certains constructeurs vernissent dès ce stade l'ossature en bois, sauf évidemment les faces extérieures à encoller. Cela présente l'avantage de rendre les coulures de colle plus facile à essuyer.

Ce stade de la construction, avec la charpente prééquerrée, est l'un des plus gratifiant de la construction. C'est tout simplement beau. Certains se demandent même s'il ne serait pas possible de border en plexi...

# LES BORDÉS

#### Préparation:

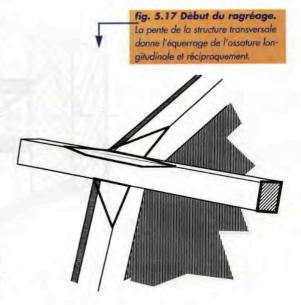
Les bordés en contreplaqué sont préparés en scarfant à plat, bout à bout, plusieurs panneaux pour obtenir les longueurs requises (fig. 5-18 page suivante).

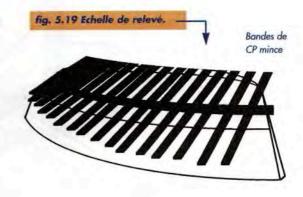
Les formats des bordés sont relevés sur la coque, soit en y positionnant l'élément grande longueur préparé — pour les petites unités, ils ne posent pas de problème de manutention —, soit en passant par l'étape intermédiaire d'un relevé au moyen, par exemple, d'une "échelle". Cette échelle est réalisée en bandes de contreplaqué (fig. 5-19).

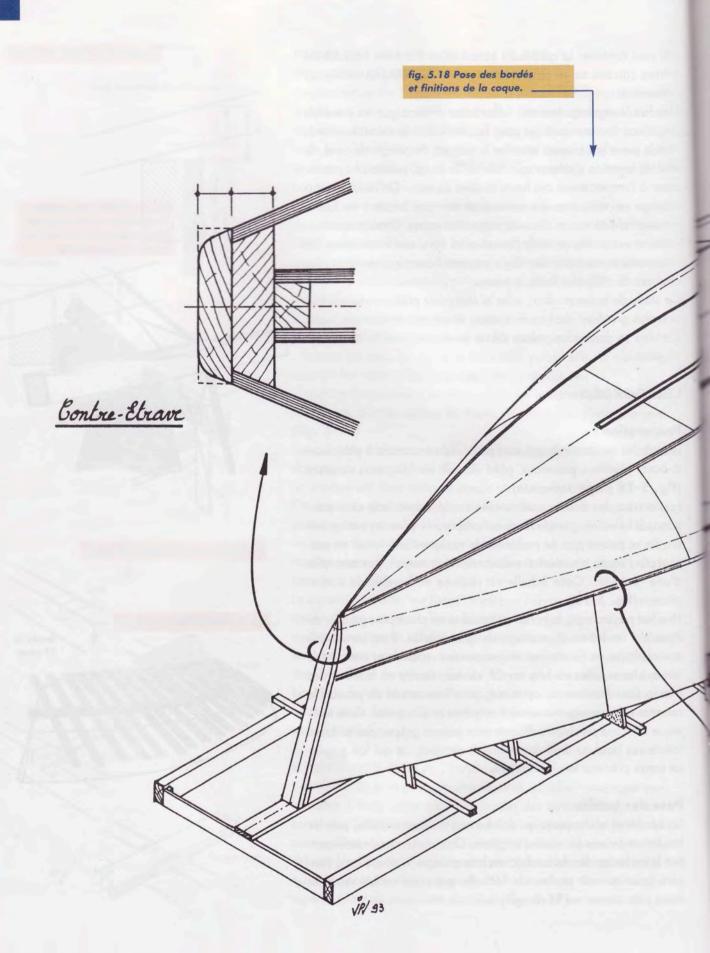
Une fois prédécoupé, le bordé est présenté en place pour y tracer de l'intérieur les limites d'encollage de la charpente. Il est immobilisé par quelques vis provisoires soigneusement repérées et complétées par quelques cales en bois ou CP vissées, venant en butée à des intersections (ex : serres, ceintures), pour être certain de pouvoir le remettre en place rigoureusement au même emplacement. Cette technique offre une précision suffisante pour pouvoir prépeindre les faces intérieures (sauf au droit des parties à encoller), ce qui fait gagner un temps précieux lors des finitions.

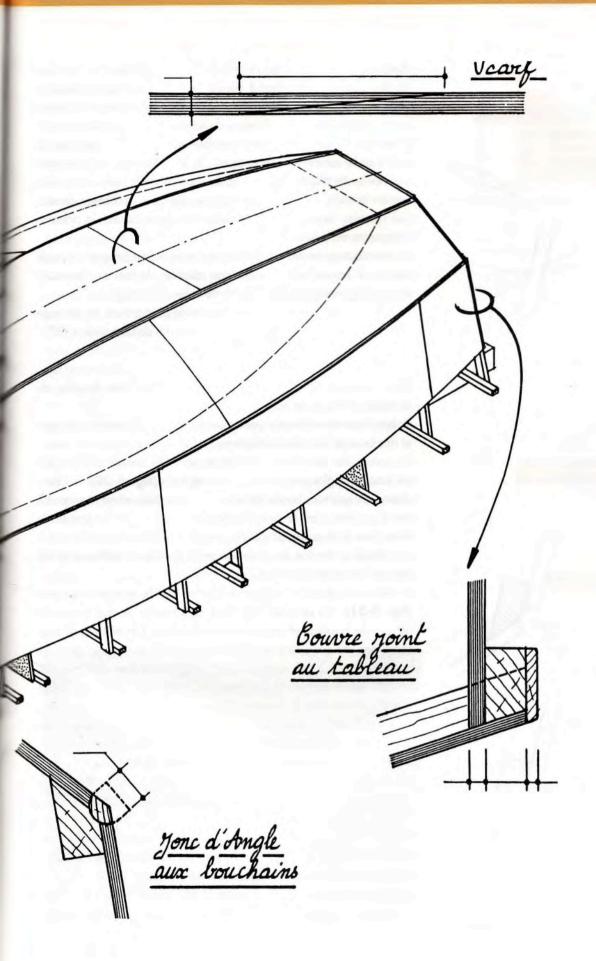
#### Pose des bordés

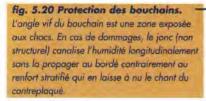
Les bordés et la charpente qui doit les recevoir sont encollés, puis les bordés sont vissés (ou cloués) en place. On commence généralement par le ou les bordés de fond, ici en haut puisque la coque est à l'envers, pour pouvoir profiter de l'échelle que constitue les serres et lisses pour monter sur la coque.

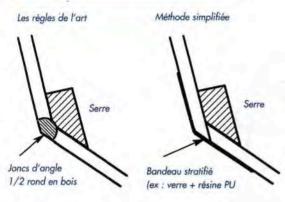


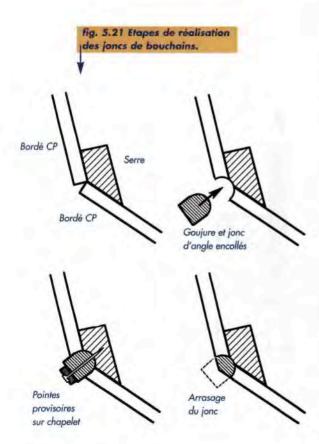












Pour les pointes ou vis qui restent en place, optez pour des vis inox ou des pointes galvanisées à chaud. Les vis utilisées sont à tête fraisée pour être suffisamment enfoncées et les pointes seront chassées sur au moins 1 mm. Ces éléments de liaison mécanique sont espacés d'environ 15 cm (espacement variable suivant zone, l'épaisseur du bordé et la contrainte à y exercer). Ils sont disposés en quinconce pour éviter les alignements susceptibles de fendre le bois ; notez qu'à l'heure actuelle, l'utilisation de visseuse sans fil a quasiment généralisé l'emploi de vis plutôt que de pointes pour assurer la pression nécessaire au collage.

En construction amateur, à quatre personnes, il faut compter un weekend pour border une coque d'une dizaine de mètres. Pensez à essuyer régulièrement les coulures de colles à l'intérieur.

Pour plus d'information sur les techniques de préparation, de découpe et de pose des bordés, consulter le chapitre 11 du hors série n° 27.

# Finitions de la coque

Reste à assurer quelques finitions de la coque, avec la pose de quelques éléments en bois ou contreplaqué.

L'objectif est d'assurer une protection efficace des chants des bordés et des bois de bout de la structure.

Au niveau des bouchains, cette protection sera assurée par la pose de joncs d'angles deux ronds collés en bois (*fig. 5-20*). Les bouchains vifs sont des zones très exposées aux chocs et au ragage. En cas d'incident, c'est le jonc d'angle qui encaisse et l'orientation du fil du bois évite au bordé CP de prendre l'humidité contrairement à une simple protection par tissus de verre stratifiés. Il suffira donc de réparer le jonc endommagé.

La mise en place d'un jonc s'effectue de la manière suivante (fig. 5-21): on usine en 1/2 rond, à la toupie, un bois préscarfé de grande longueur et de section rectangulaire. On défonce le bouchain par une goujure à la défonceuse : il faut entamer la serre de bouchain sur 5 à 10 mm pour avoir la garantie d'un collage satisfaisant. Autrefois, cela se pratiquait à la main, au guillaume (rabot mince) pré-usiné en 1/2 rond. On vient coller en place le jonc fixé provisoirement par quelques vis fines ou par des pointes à tête plate sur chapelet (succession de petites cales en bois limitant l'enfoncement des pointes). Après la prise de la colle, on retire les vis ou on fait sauter les cales et on retire les pointes. Le jonc est équerré dans le prolongement des bordés et son arête légèrement adoucie.

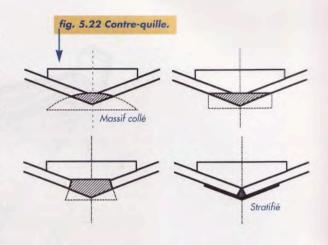
Au niveau de la quille d'une unité à fond en V, le principe sera sensiblement identique : on colle en place une pièce en bois massif ployé. Cette "contre-quille" peut revêtir diverses configurations (**fig. 5-22**). Au niveau de l'étrave, on arase les serres, lisses, bordés et joncs d'angle dans le plan de la face avant de l'étrave, et on vient coller en place la "contre-étrave" qui sera, suivant les cas, un massif ployé, un lamellé collé ou un contreplaqué. La contre étrave sera équerrée à son tour dans le prolongement des bordés (fig. 5-23).

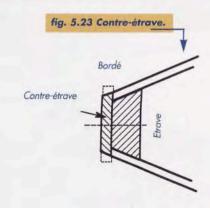
A l'arrière, cette fois après arasage, comme précédemment on viendra protéger les abouts de bois ou des CP débouchant. Dans le cas d'un tableau classique (avec ceintures sur l'avant), on posera le "contre-tableau" constitué d'un CP mince (généralement en 4 ou 6 mm) contrecollé sur le tableau arrière (fig. 5-24). Pour son tracé de découpe il suffit de plaquer la feuille de CP en place. Pour assurer la pression lors du collage, on peut procéder par agrafage (comme pour les techniques du bois moulé) ou réaliser un quadrillage provisoire de pointes sur chapelets. Enfin, il est possible d'adopter une formulation d'adhésif spécifique (voir Chapitre 3 consacré aux colles). Reste à assurer le rebouchage des trous laissés par les pointes ou les vis, à l'époxy chargé par exemple.

On profitera du fait que la coque est à l'envers pour avancer le plus gros du travail de protection de surface, surtout pour les œuvres vives qui seront fatigantes à poncer une fois la coque à l'endroit. Cela pourra consister en deux couches d'imprégnation de résine époxy, suivies d'un dépolissage et d'un dépoussiérage, de deux sous-couches époxy, dépolies et dépoussiérées à leur tour. On termine généralement par deux couches de laque polyuréthanne bi-composant.

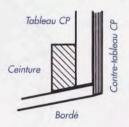
On notera qu'avec cette technique de mise en œuvre sans tissu de verre stratifié, on évite les séquences de rattrapage d'épaisseur à l'enduit, et l'on a aisément un état de surface parfait. Nous reviendrons plus tard aux séquences de protection de surface dans le chapitre spécifique qui leur est consacré. On peut également profiter de la parfaite horizontalité de la coque pour y matérialiser le tracé de la flottaison. Enfin, pour plus d'informations sur les finitions bois de la coque consulter le chapitre 12 du hors série n° 27.





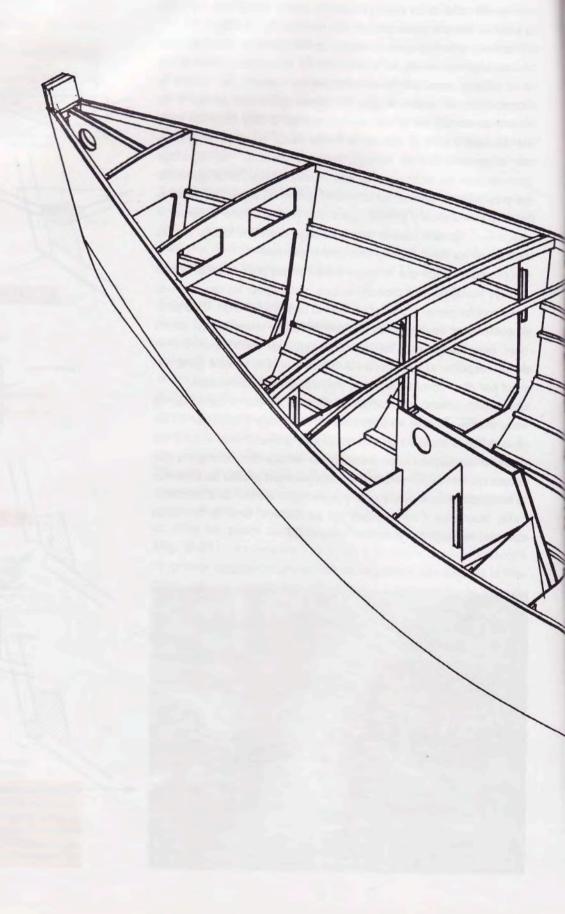


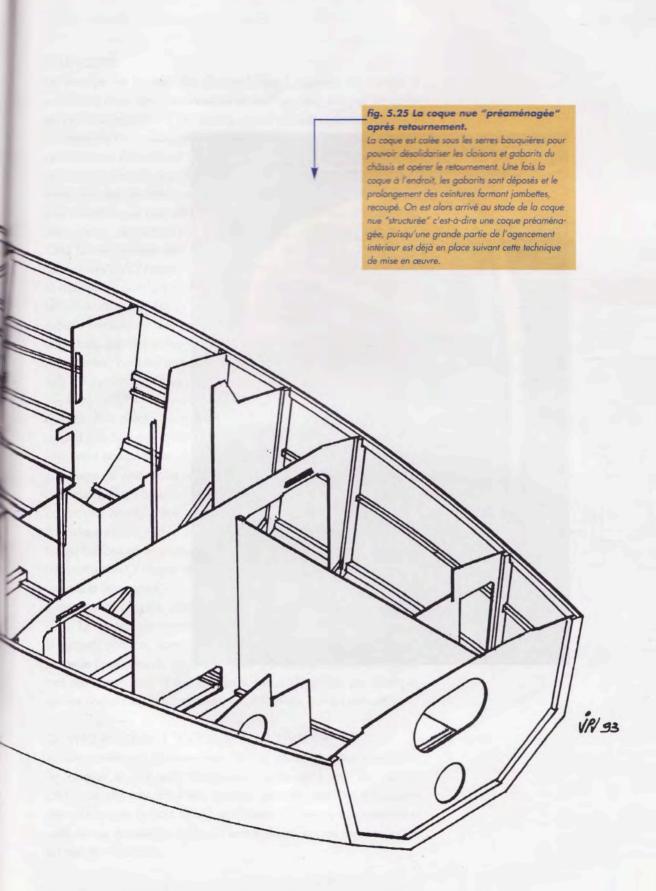


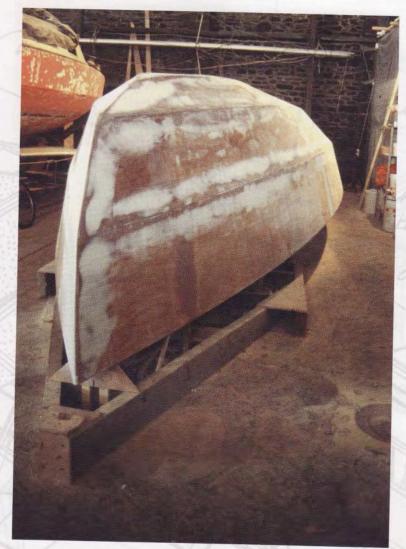


#### Une phase gratifiante

L'apparition des formes générales de la carène avec la charpente prééquerrée est la récompense d'un long travail. Reste à poser les bordés pour disposer d'une "vraie" coque.







toublante d'a

eblante de noimh 1 160×12

acajou 35225-

# RÉALISATION D'UNE COQUE EN CP/ÉPOXY

#### PRINCIPE

Le principe de la méthode d'assemblage CP/époxy est simple. Il consiste à créer des liaisons entre les bordés, non pas par un collage par l'intermédiaire d'un tasseau massif comme en construction CP sur ossature bois, mais par un collage à l'aide d'un joint à base de résine époxy directement entre les deux panneaux de CP. Ce collage avec un arrondi appelé "joint-congé" peut être renforcé, si nécessaire, par une stratification avec des tissus de nature différente.

Ces assemblages sont efficaces grâce aux excellentes propriétés de cette résine, notamment par son fort pouvoir d'adhésion.

Cela fait maintenant plus de dix ans que des chantiers construisent des voiliers en CP/époxy suivant des plans de différents architectes ; la fiabilité du principe ne peut plus être remise en cause.

La construction CP/époxy permet de remplacer des liaisons en bois massif, nécessitant des ajustages parfaits et donc un savoir faire important, par des collages fiables et facilement réalisables.

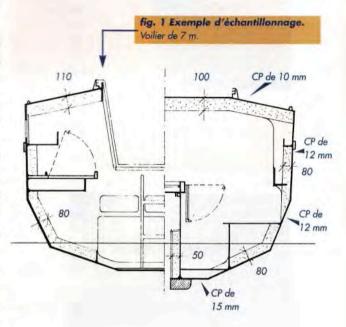
Néanmoins, certains architectes préconisent de garder en construction CP époxy, quelques pièces en bois massif. Ce sont principalement les renforts de pont : les barrots, les élongis, les serre-bauquières. Ces pièces permettent une pose facile du pont en évitant ainsi d'effectuer des joints-congés dans des positions inconfortables. Une serre-bauquière en bois est aussi la bienvenue pour fixer l'accastillage de pont et les cale-pieds. Des renforts de quille sont parfois fabriqués en bois massif ou lamellé, comme ils peuvent l'être en composites fibres/époxy.

Il est donc envisageable de mixer les types d'assemblage et d'adapter les liaisons en fonction des buts recherchés.

La construction CP/époxy offre des possibilités d'assemblage variées en utilisant le bois massif, le bois lamellé collé et les matériaux composites, toutes les techniques sont bonnes si l'échantillonnage est adapté (fig. 1). Ce type de montage est valable aussi bien pour les petits que les grands bateaux, comme pour les monocoques ou les multicoques. Le mode opératoire de fabrication reste très libre et ouvert à l'imagination des concepteurs et des fabricants. Nous allons voir, par exemple, qu'une coque peut être construite, soit à l'envers, soit à l'endroit.

# CONSTRUCTION "COQUE À L'ENVERS"

Traditionnellement, comme nous l'avons vu au chapitre précédent, les coques en CP sont fabriquées "quille en l'air". Les coques CP/époxy peuvent aussi être montées dans ce sens. Ne nécessitant pas ou très peu de bois massif, un bateau CP/époxy est assemblé et collé sur un mannequin mâle. La coque désolidarisée du mannequin est ensuite retournée.



#### Espacement des gabarits du mannequin en fonction de l'épaisseur du bordé.

l'épaisseur du bordé.							
Epaisseur du bordé en mm	Espacement entre les gabarits en mm						
4	300						
5	450						
6	570						
8	720						
10	850						
12	950						
15	1 050						
19	1 100						
22	1 150						
25	1 200						

Ce type de construction nécessite d'avoir les cotes pour le mannequin, pour les cloisons et les différents renforts. Les développés des bordés ne sont pas indispensables.

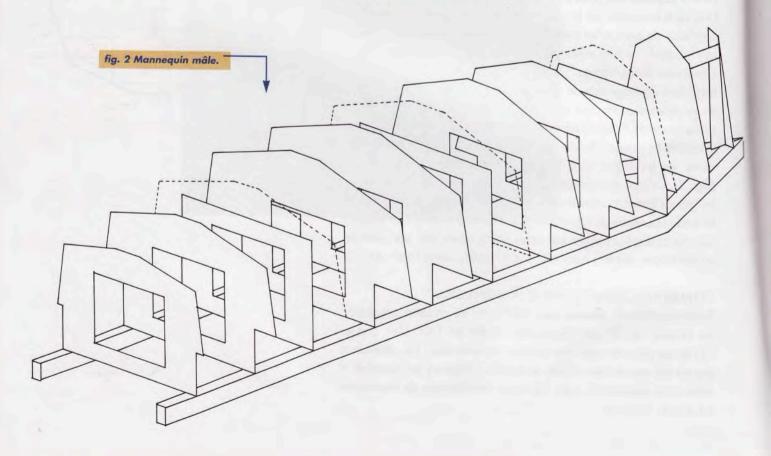
# Le mannequin

La réalisation du mannequin est une phase importante à ne pas négliger. Un travail bien fait est le gage du respect du plan de forme de la coque. Une erreur peut coûter chère en temps et en matériau, aussi faut-il travailler avec calme et méthode.

Pour un amateur, la confection d'un mannequin représente une somme assez importante, d'où l'intérêt de se regrouper à plusieurs constructeurs pour diviser le coût de cet outillage. Il est aussi envisageable de construire un mannequin démontable afin de pouvoir le revendre une fois le chantier terminé.

Le mannequin est constitué d'un ensemble de gabarits fixés sur des longerons, appelés bâtis ou châssis (fig. 2). Il existe différentes formes de châssis envisageables (voir chapitre 5). Les gabarits correspondent à des couples du plan de forme diminués de l'épaisseur des peaux de la coque. Ces gabarits sont placés perpendiculairement à la ligne de flottaison celle-ci étant horizontale.

Le nombre de gabarits est variable suivant l'épaisseur du CP et le rayon de courbure du panneau. A titre indicatif, le tableau ci-contre donne l'espacement moyen des gabarits en fonction de l'épaisseur du CP. Comme les différents bordés ont des échantillonnages variés,



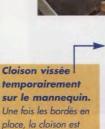
il faut tenir compte de l'épaisseur du plus faible bordé, généralement le supérieur, pour calculer la distance entre les gabarits.

En plus des gabarits, le constructeur place sur le mannequin des cloisons en CP qui feront partie de la structure de la coque. Ces cloisons vont être collées par les joints-congés sur les panneaux de CP dès qu'ils seront positionnés sur le mannequin et fixés entre eux. Les cloisons, si elles prennent appui sur tous les bordés, rentrent en ligne de compte pour déterminer l'espacement entre les gabarits décrits ci-dessus : elles sont considérées comme un gabarit pour ce calcul. La plupart du temps, les cloisons sont fixées sur des supports pris sur le châssis.

Une fois la coque "démoulée" du mannequin, les cloisons transversales assurent le maintient de l'ensemble.

Généralement, pour limiter les coûts, les gabarits sont confectionnés en aggloméré. L'épaisseur de l'aggloméré doit être suffisante pour y loger les vis qui tiendront les bordés, soit 20 mm environ.

Pour obtenir une coque parfaitement symétrique, il est intéressant de fabriquer deux demis gabarits, de les replier l'un contre l'autre pour les ajuster puis de les déplier et de les rassembler à l'aide d'une contre plaque collée vissée (fig. 3). Une autre méthode consiste à faire faire les gabarits. Des sociétés proposent la découpe des panneaux de CP ou d'aggloméré à l'aide de machines à commande numérique. Les prix pratiqués par ces entreprises sont actuellement en baisse très sensible et ce type de service est accessible aux



assemblée à la coque

par joints-congés.



#### Coque démoulée.

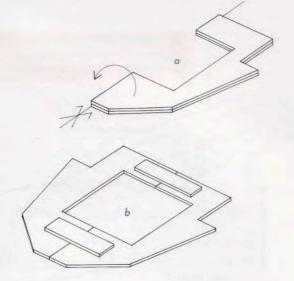
La coque sortie du mannequin conserve quelques cloisons qui évitent la déformation de l'ensemble. Seul le puits de dérive a été rajouté.



Détail du mannequin. Notez le gabarit incliné qui recoit une cloison avant. Par soucis d'économie, le mannequin est réalisé en aggloméré.



#### fig. 3 Réalisation d'un gabarit parfaitement symétrique. a) ajustage des deux demi-gabarits par superposition b) assemble des deux demi-gabarits à l'aide d'une doublante



Les gabarits du mannequin sont évidés pour que le constructeur puisse réaliser les joints-congés des cloisons sur les bordés.



Gabarit pour recevoir l'étrave.



constructeurs amateurs. Le temps gagné est très important et les erreurs évitées. Il faut se procurer une disquette informatique avec les données auprès de votre architecte et avoir dans votre région de construction une entreprise effectuant ce type de découpe.

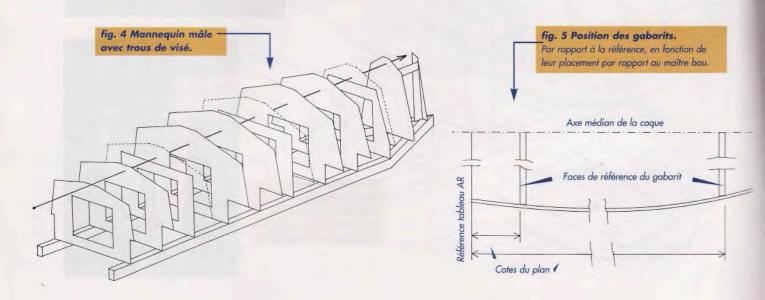
Les gabarits sont fixés sur le châssis avec des équerres vissées ou tout autre système de fixation démontable. Attention : penser qu'il faut avoir accès à l'intérieur du mannequin pour coller par joints-congés les quelques cloisons positionnées. A cet effet, les gabarits sont souvent évidés dans leur partie centrale ou surélevés par rapport au châssis.

Le positionnement des gabarits et des cloisons est très précis suivant les trois directions dans l'espace :

- en perçant un trou dans l'axe du bateau au niveau de la flottaison, il est possible en visant l'alignement des trous d'observer un éventuel défaut de positionnement de gabarits (fig. 4),
- suivant l'axe longitudinal du bateau, la face de référence du gabarit et d'une cloison n'est pas la même de chaque côté du maître couple du bateau. Comme le bordé est en biais par rapport au plan médian du bateau, le gabarit ou la cloison doit être placé pour que sa face en appui sur le bordé corresponde à la cote donnée sur le plan (fig. 5). Sur le mannequin, un gabarit est intégré pour le positionnement de l'étrave. Certains bateaux en CP/époxy sont fabriqués avec des serre-bauquières. Celles-ci sont fixées temporairement, à l'aide d'équerres vissées sur les gabarits du mannequin juste après la mise en place des cloisons transversales.

Lorsque le bordé supérieur est vertical ou faiblement incliné, la serrebauquière empêche le "démoulage" de la coque. Il est alors nécessaire de fabriquer, soit des gabarits repliables montés avec une charnière piano, soit des gabarits avec des parties amovibles (*fig. 6*).

Le mannequin doit être protégé des éventuelles coulures de résine.



A cet effet, les gabarits sont recouverts de bandes de polyane qui évitent de rendre solidaire la coque du mannequin. Il est aussi possible de protéger les gabarits avec du ruban adhésif d'emballage sur lequel la résine ne colle pas. Ces protections sont utiles uniquement au niveau des angles des gabarits et au niveau des liaisons des panneaux de CP.

# Montage de la coque sur le mannequin

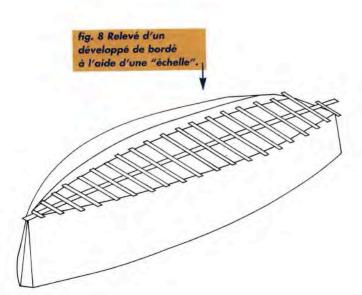
La première opération consiste à positionner les cloisons transversales sur le mannequin. Ces cloisons sont découpées aux dimensions exactes mentionnées sur les plans, elles sont éventuellement renforcées avec un ou plusieurs tasseaux de façon temporaire ou définitive suivant les besoins des emménagements (*fig. 7*). Ensuite, les cloisons sont vissées sur des "mini-gabarits" ou directement fixées sur les châssis. Il faut bien respecter le positionnement longitudinal décrit précédemment.

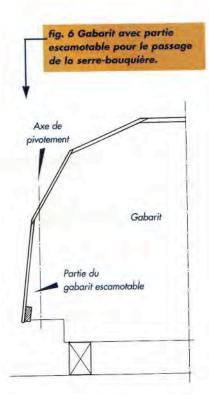
• Mise en place des panneaux de CP.

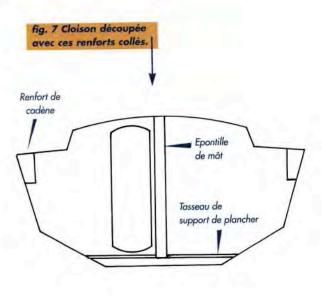
Comme il est indiqué dans le chapitre sur les résines époxydes, les différents éléments en CP du bateau sont imprégnés d'une première couche de résine sur les deux faces (voir le collage bois/époxy). Les panneaux sont ensuite scarfés et découpés aux dimensions extérieures avec une marge de 2 cm environ. Si l'architecte ne fournit pas les développés des panneaux, il est possible d'effectuer un relevé avec une échelle (fig. 8) ou un gabarit confectionné à l'aide de petites lattes (fig. 9).

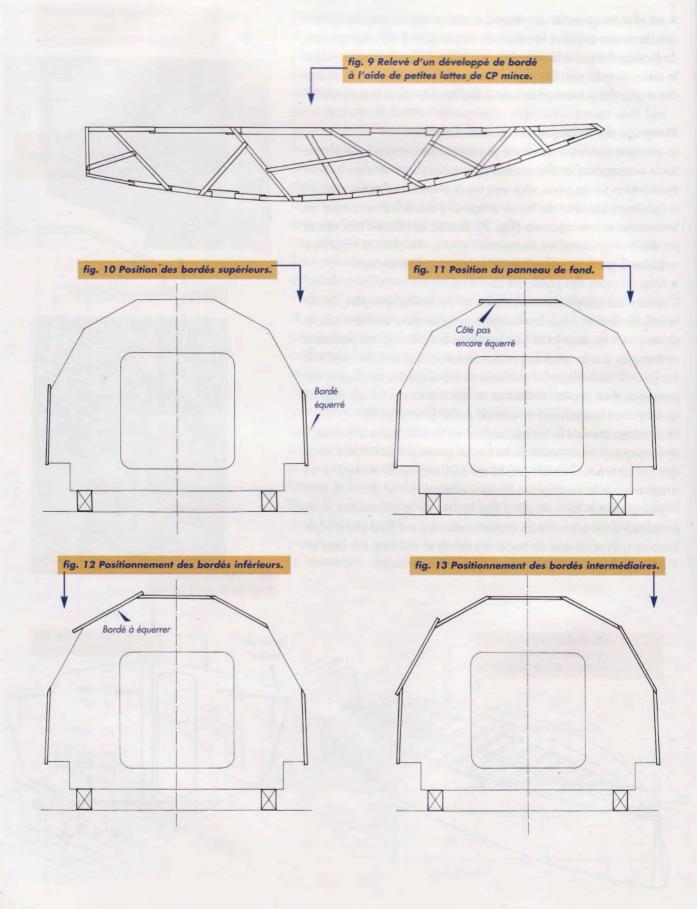
Nota : bien souvent le tableau arrière est installé après le montage de la coque. Il est conseillé de laisser les panneaux de CP plus longs que nécessaire sur l'arrière (de 10 cm à 20 cm). Le CP en surplus est arasé une fois le montage de l'arrière effectué.

Pour expliquer la mise en place des bordés sur le mannequin, nous prendrons deux exemples de coques : une coque à fond plat à triple bouchains (type carène de voilier moderne) et une coque à fond en V à simple bouchain (type carène de bateau à moteur).









• Coque à fond plat à triple bouchains.

Les premiers panneaux, à être mis en place, sont les deux bordés supérieurs (fig. 10). Ils sont collés sur la serre-bauquière, si elle existe, et fixés sur les gabarits à l'aide de vis. Pour gagner du temps il faut travailler comme les professionnels : utiliser des vis à tête cruciforme ou à tête torse avec une visseuse portative alimentée par batterie. Le panneau de fond est posé sur les gabarits et vissé (fig. 11). Ce dernier panneau est ensuite équerré sur bâbord et tribord pour pouvoir installer les bordés inférieurs, qui en plus de leur fixation avec les vis, seront collés à l'époxy sur les chants nouvellement équerrés (fig. 12). Les derniers bordés, les bordés inférieurs et supérieurs. Ces derniers panneaux sont rabotés dans le prolongement des bordés attenants (fig. 13).

• Coque à simple bouchain en V.

De même que précédemment, les premiers panneaux installés sont les bordés supérieurs (fig. 14). Après équerrages de ces panneaux, le constructeur pose un bordé de fond (tribord ou bâbord) et l'équerre. Il reste le dernier panneau de fond à positionner, visser et coller (fig. 15).

# Assemblage de la coque

A ce stade de la fabrication, les deux types de carène suivent le même principe de fabrication.

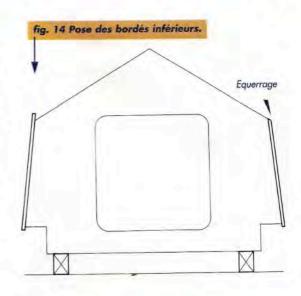
Tous les angles des bouchains sont arrondis pour permettre aux tissus de la stratification extérieure de s'appliquer convenablement. Il faut compter un rayon de 10 mm à 20 mm suivant l'épaisseur du CP *(fig. 16)*.

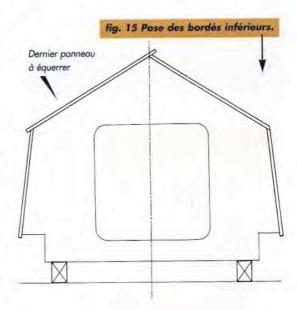
L'amateur commence ensuite sa première stratification : la liaison extérieure des bordés avec un ou plusieurs tissus de type bi-axial ou tri-axial suivant les spécifications de l'architecte (voir le chapitre stratification des joints-congés).

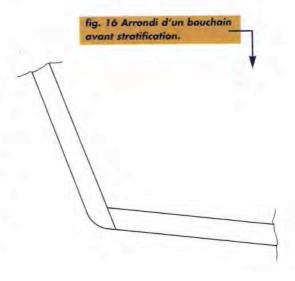
Il faut maintenant passer aux premiers joints-congés : ce sont ceux des cloisons installées à l'intérieur du mannequin. Commencer par les parties les plus accessibles pour prendre "le coup de main" (voir le chapitre sur les joints-congés).

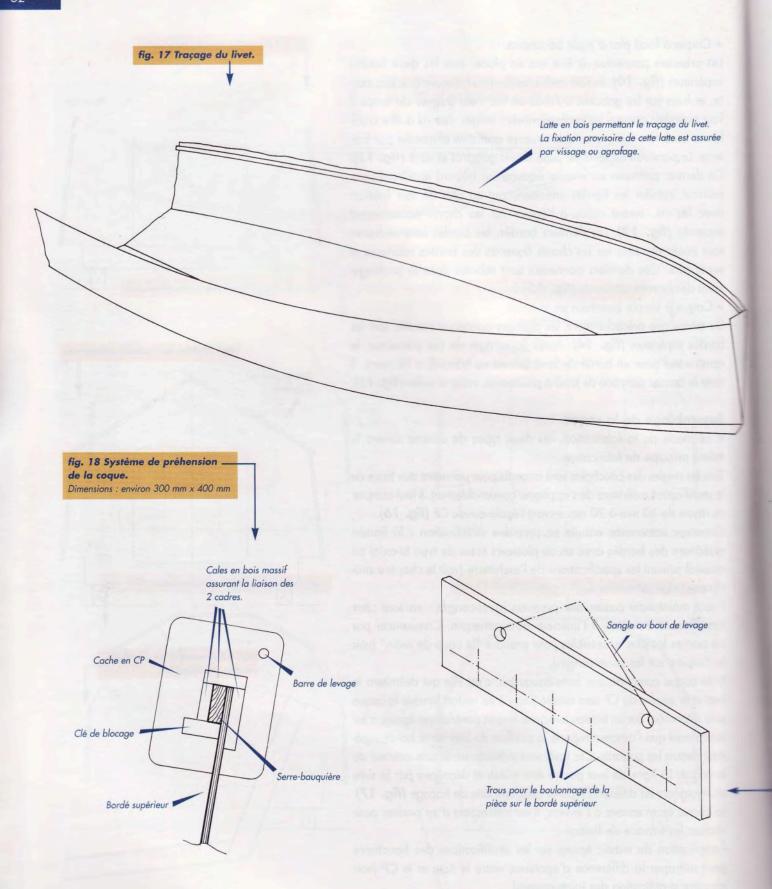
Si la coque comporte une serre-bauquière, c'est elle qui délimitera le livet et le surplus de CP sera raboté jusqu'à ce renfort lorsque la coque sera retournée. Sur un bateau avec une liaison pont/coque époxy, c'est maintenant que l'amateur reporte la position du livet sur le bordé supérieur depuis les gabarits. Ces traits sont indiqués sur le côté intérieur de la coque. La ligne de livet pourra être tracée et découpée par la suite en rejoignant les différents repères avec une latte de traçage (fig. 17). La coque étant encore à l'envers, il est intéressant d'en profiter pour réaliser les travaux de finition :

- application de mastic époxy sur les stratifications des bouchains pour rattraper la différence d'épaisseur entre le tissu et le CP (voir chapitre stratification des joints-congés),









- si la coque doit être stratifiée, réaliser cette opération (voir chapitre stratification d'une coque),
- si la coque ne doit pas être stratifiée, imprégner une deuxième couche de résine époxy sur la coque. Ce deuxième passage de résine est indispensable pour protéger le CP par un film étanche,
- passer l'enduit époxy de finition au pistolet. Comme il reste la liaison du livet à stratifier, il est inutile de pistoler l'enduit dans le haut du bordé supérieur, cette opération se fera lors des travaux de finition du pont.

#### Retournement de la coque

Cette étape nécessite un local ayant une hauteur suffisante pour lever le bateau au-dessus du mannequin. C'est évidemment un détail important à vérifier avant de lancer le début du chantier! L'amateur, qui n'a pas à sa disposition un tel local, peut prévoir un mannequin fabriqué avec des gabarits réalisés en deux parties démontables (fig. 3). Lorsque la coque est terminée, elle est calée et le mannequin est démonté.

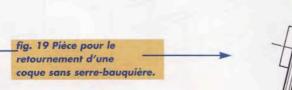
Avant de retourner la coque, la première opération à effectuer est de la désolidariser du mannequin. Il faut donc penser à enlever toutes les vis qui fixaient les différents panneaux sur le mannequin.

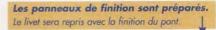
La coque est ensuite levée au-dessus du mannequin à l'aide d'un portique muni de deux palans. Il faut trouver un système de fixation des palans sur les côtés de la coque. La figure 18 montre, à titre d'exemple, une pièce positionnée sur le bordé supérieur et qui permet la liaison avec le système de levage. Ce système de levage nécessite une serre-bauqière qui répartit les efforts sur tout le bordé supérieur. Sur une coque sans serre-bauquière, il est possible de prévoir une pièce avec un tasseau boulonné sur le bordé supérieur (fig. 19). Les trous effectués seront bouchés au mastic époxy ultérieurement.

La coque est ensuite retournée de manière classique, en mollissant un palan et en reprenant de l'autre.

Nous allons voir maintenant que grâce à la construction époxy, il est possible d'éviter cette phase de retournement en construisant la coque directement à l'endroit.

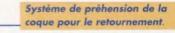
Sangle ou bout de levage















# RÉALISATION "COQUE À L'ENDROIT"

Une construction coque à l'endroit est pratique pour les bateaux de longueur ou de largeur importante ; elle évite la phase de retournement toujours délicate pour un constructeur amateur et s'applique parfaitement à la construction des multicoques.

Le montage de la coque a lieu sur un mannequin femelle qui va recevoir les bordés et dans lequel le bateau va être entièrement assemblé. Evidemment, le mannequin femelle est plus volumineux qu'un mannequin mâle. De plus, cette méthode ne permet pas une stratification extérieure de la coque : il est trop délicat de positionner les tissus. Par contre, la stratification extérieure des bouchains est réalisable vu la faible largeur des bandes de bi-axiaux et de tri-axiaux.

# Réalisation du mannequin femelle

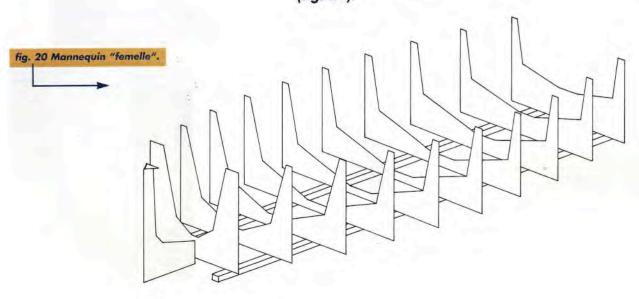
Comme pour le mannequin mâle, le mannequin femelle est fabriqué sur un bâti avec des gabarits en aggloméré d'épaisseur suffisante pour éviter les déformations et pour y loger des vis (fig. 20). Le mannequin peut être rigidifié dans sa partie supérieure par un tasseau le ceinturant.

La découpe des gabarits est donnée par l'architecte et correspond aux couples plus l'épaisseur des bordés. lci aussi, les gabarits peuvent être réalisés à partir de deux demis gabarits ajustés l'un sur l'autre.

Ne pas oublier de tracer la ligne de flottaison sur les gabarits, elle est utile pour le positionnement du gabarit lui-même et pour retranscrire la flottaison sur la coque terminée.

L'espacement entre les gabarits obéit aux mêmes règles que celui du mannequin mâle. Mais dans le cas présent, il n'y a pas de cloison insérée dans le mannequin.

Pour le positionnement des gabarits, il est judicieux de placer un cordeau passant dans le plan médian du bateau. Cet axe permet de vérifier au fil à plomb le centrage et la hauteur des gabarits (fig. 21).



Il faut, comme pour le mannequin mâle, vérifier quelle est la face de référence de chaque gabarit. Le côté du gabarit en appui sur le bordé doit correspondre à la cote donnée sur le plan (fig. 22). Par rapport au mannequin mâle (voir réalisation du mannequin mâle), les faces de référence des gabarits sont inversées.

La fixation des gabarits sur le mannequin est réalisée avec des équerres vissées dans les châssis.

Comme pour le mannequin mâle, il faut prévoir :

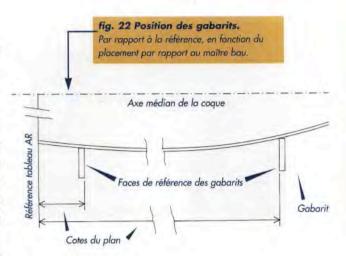
- un travail soigné et symétrique,
- un gabarit spécial recevant l'étrave,
- des protections en plastique contre les coulures de résine (voir réalisation du mannequin mâle).

# Montage de la coque dans le mannequin

Les panneaux de CP doivent être scarfés au préalable. Cette technique d'assemblage de coque nécessite une découpe parfaite des bordés qui ne peuvent être ajustés sur place. A l'heure où la plupart des logiciels de tracé de carènes donnent les développés, ce point ne pose pas de problème et les architectes fournissent généralement les documents nécessaires (fig. 23). Là encore, il est possible de faire réaliser les découpes en commande numérique.

Si le constructeur ne possède pas les développés des bordés, il est tout de même possible d'utiliser une technique de prise de gabarit. Celle avec des bandes étroites de CP minces agrafées-entre elles et rendues indéformables par d'autres bandes placées en diagonale est particulièrement bien adaptée (fig. 9).

Dans tous les cas, les panneaux seront découpés aux dimensions exactes données par le plan ou le gabarit du développé, excepté sur l'arrière des panneaux où la longueur peut dépasser d'une dizaine de centimètres. Ici les bordés ne sont pas équerrés, ils sont bruts de découpe ou éventuellement rabotés perpendiculairement aux chants du CP. La liaison des bordés ne sera pas la même avec la construction coque





à l'endroit et coque à l'envers qui profite de la surface de CP équerrée comme joint de collage (fig. 22). Dans la construction coque à l'endroit, la perte de surface de collage est récupérée par une stratification plus large avec un grammage de tissu légèrement supérieur.

Les panneaux sont ensuite installés dans le mannequin en commençant par le ou les panneaux de fond et en remontant vers le livet. La fixation est effectuée avec des vis. Pour ce faire, il faut penser à tracer la position des gabarits sur les bordés. Les vis doivent être suffisamment éloignées des bouchains pour ne pas être recouvertes par la stratification intérieure de liaison des bordés.

# Assemblage de la coque

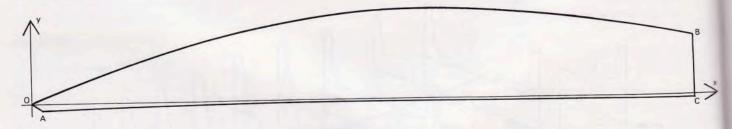
Lorsque tous les panneaux sont en place, il est possible de commencer le collage des panneaux entre eux en réalisant les liaisons par joints-congés. Il est préférable de commencer par les liaisons des panneaux supérieurs et finir par les fonds du bateau pour ne pas piétiner les joints-congés non polymérisés. Les bandes de bi-axiaux sont appliquées par la suite. Comme nous l'avons vu précédemment, il est souhaitable de stratifier les joints-congés lorsqu'ils commencent juste à durcir pour éviter la phase de ponçage.

L'un des avantages de la construction coque à l'endroit réside dans les opérations décrites ci-dessus. Les joints-congés et les stratifications sont réalisés sur toute la longueur du bordé sans aucune coupure, il y a continuité de l'assemblage. Les cloisons rapportées dans la coque le seront par-dessus les liaisons propres aux bordés. Ceci n'est pas le cas de la construction coque à l'envers où, à chaque cloison montée dans le mannequin, la liaison est stoppée. Au niveau structurel, la construction coque à l'endroit se rapproche de la construction sur ossature bois.

Si le bateau est équipé d'une serre-bauquière, celle-ci sera installée

fig. 23 Exemple de développé de bordé.

Le tableau ci-dessous, donne les cotes pour la découpe du bordé.



	A	В	C		
X	202	11 031	11 020		
Y	-116	830	-170		

Y	186	364	534	694	838	970 -97	1 088	1 188	1 268	1 330 -104	1 376 -108
X	6 000	6 500	7 000	7 500	8 000	8 500	9 000	9 500	10 000	10 500	11 000
Y	1 404	1 416	1 412	1 392	1 354	1 304	1 238	1 158	1 064	956	838
v	-114	-120	-126	-134	-142	-148	-154	-160	-166	-168	-170

directement dans la coque à la suite de ces opérations comme les éventuels renforts de quille.

Les vis de fixation des différents panneaux sont enlevées assez rapidement dans l'avancement des travaux pour ne pas les oublier ou de les recouvrir par un quelconque renfort. Les trous sont bouchés au mastic époxy par l'intérieur dans un premier temps, puis par l'extérieur dans un deuxième temps.

Les liaisons extérieures (joint époxy et stratification) sont effectuées lorsque le bateau est désolidarisé du mannequin. Cette étape peut être mise en œuvre n'importe quand lorsque la coque est suffisamment rigide. C'est-à-dire lorsqu'elle possède ses cloisons transversales et ses éventuels renforts en bois massif. Il est aussi possible d'attendre la fin de la construction ; pose du cockpit, des emménagements, du pont, du rouf, avant de terminer l'extérieur de la coque.

Comme nous traitons dans ce chapitre la construction à l'endroit, continuons les spécificités de cette méthode sans respecter l'ordre chronologique de l'élaboration de la coque. Nous allons donc traiter les différentes méthodes de "démoulage" de la coque du mannequin.

# "Démoulage" de la coque

Un facteur, qui peut influencer le moment où la coque est sortie du mannequin, est la capacité du système de levage à disposition de l'amateur. En effet, la différence de poids entre une coque juste assemblée et un bateau terminé est assez importante.

Notons que le terme "démoulage" évoqué plus haut est impropre. La coque étant assemblée sur un mannequin et non réalisée dans un moule, il faudrait plutôt dire que la coque est désolidarisée du mannequin. Cette opération peut s'effectuer de plusieurs façons :

- la coque est soulevée grâce à un portique ou tout autre moyen de levage. Il est très facile de glisser des sangles entre la coque et le mannequin femelle.

Le local où se trouve le bateau doit être assez haut pour lever la coque au-dessus du mannequin. Puis le bateau est juste déposé à côté du mannequin et calé.

Il est aussi possible de démonter le mannequin en ayant, au préalable, calé le bateau. Il n'y a ici aucune manipulation sur la coque.

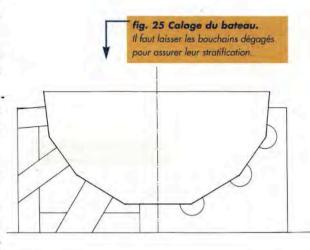
Le nouveau positionnement du bateau doit être prévu pour effectuer les travaux extérieurs sur la coque. Le calage du bateau doit permettre la réalisation des stratifications des bouchains (*fig. 25*). Il peut être envisagé d'incliner la coque sur un bord puis sur l'autre pour effectuer les liaisons extérieures des bordés. Les stratifications des bouchains suivent la même procédure que pour la coque à l'envers ; l'angle est :

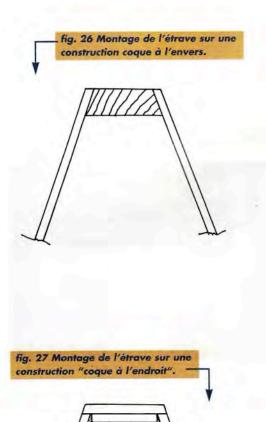
- arrondi (rayon de 10 mm à 20 mm),
- enduit au mastic haute densité,
- stratifié avec les tissus préconisés sur les plans.

Les travaux de finition sont aussitôt mis en œuvre sur la coque.

Coque assemblée dans un mannequin femelle.







#### L'ÉTRAVE

Comme nous l'avons vu précédemment, sur le mannequin, un gabarit est destiné au positionnement de l'étrave. Ce gabarit permet la mise en place d'une pièce d'étrave en CP ou en bois massif sur, ou, dans le mannequin suivant la technique utilisée (construction coque à l'envers ou coque à l'endroit). Cette pièce, qui fait la liaison entre les deux côtés de la coque, n'est que l'âme de l'étrave, elle est consolidée par la suite. Sur une construction coque à l'envers, l'âme d'étrave, généralement assez épaisse, est fixée sur le gabarit, équerrée et collée aux bordés sur ses chants. Elle peut éventuellement être stratifiée par l'extérieur (fig. 26). Sur une construction coque à l'endroit, l'âme positionnée sur le gabarit est souvent constituée de deux CP collés. Le morceau intérieur est diminué de l'épaisseur des bordés, ce qui permet le calage précis des bordés sur la pièce d'étrave. L'âme d'étrave est, dans un premier temps, assemblée par joints-congés et stratifiée sur l'intérieur (fig. 27).

L'étrave est ensuite traitée de la même façon quelle que soit l'origine de sa technique de mise en œuvre. Elle peut être terminée suivant deux méthodes :

- une pièce en bois massif ou en lamellé, découpé au profil de l'étrave désirée, est collée sur l'âme d'étrave. Ce morceau de bois est raboté dans le prolongement des bordés et arrondi dans la partie avant pour former une étrave en forme. La pièce obtenue est stratifiée aux bordés avec plusieurs tissus de tailles croissantes (**fig. 28**). Les surépaisseurs dues aux tissus sont rattrapées à l'enduit époxy basse densité. Afin de consolider l'ensemble, il est impératif de stratifier l'intérieur de l'âme d'étrave.
- La pièce en massif est remplacée par un ou plusieurs morceaux de CP collés et stratifiés sur les bordés (*fig. 29*). Cette solution donne des étraves plates aux formes anguleuses jugées souvent peu élégantes. Les architectes qui dessinent pour les constructeurs amateurs trouvent





cette méthode plus accessible aux capacités de leurs clients. Comme précédemment, l'âme d'étrave est stratifiée à l'intérieur.

#### POSE DES RENFORTS

Quelle que soit la méthode de construction choisie, la coque sortie du mannequin doit posséder suffisamment de cloisons pour ne pas se déformer.

La coque étant à l'endroit, il est possible de poser les cloisons manauantes et les différents renforts.

Les renforts (cloisons, lisses, varangues...) sont fixés par joints-congés époxy. Généralement, tous les joints-congés des œuvres vives sont stratifiés. Certains renforts, reprenant des efforts importants, sont stratifiés sur toute la longueur de leur joint-congé. Un joint congé stratifié visible doit être enduit et poncé pour présenter une finition correcte. La structure d'une coque CP/époxy peut-être très différente suivant le type de bateau (monocoque, multicoque) et le type de lest. L'ordre de montage des renforts est variable d'un modèle de bateau à l'autre et dépend du type de structure. Pour rester dans le domaine général de la construction CP/époxy, nous prenons comme exemple la pose d'une cloison en CP.

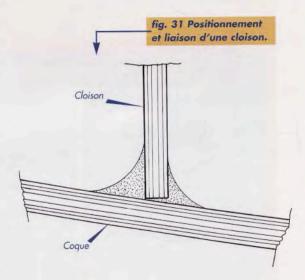
#### Pose d'une cloison

La cloison à fixer dans la coque est tracée et découpée suivant les dimensions données dans les plans *(fig. 30)*. Toutes les découpes intérieures à faire sont réalisées maintenant (voir au chapitre 5 : tracés et découpes des cloisons et gabarits).

Il est inutile de chercher à équerrer la cloison; l'arête en appui correspond à la face du CP à prendre en compte pour les cotes (*fig. 31*) et l'espace laissé libre entre la cloison et la coque sera remplie de mastic époxy.

Structure d'une coque de dériveur en CP époxy.





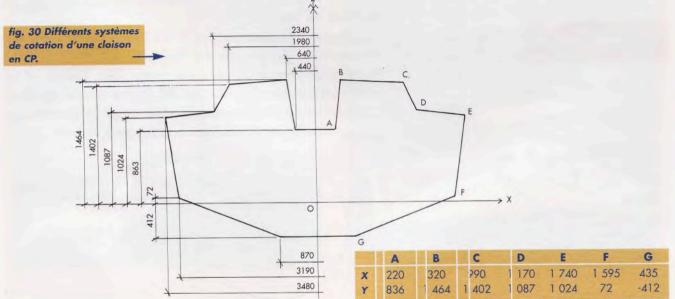




fig. 33 Cales de positionnement de cloison.

Sur les bateaux de tailles importantes, les cloisons sont parfois réalisées par assemblage de plusieurs morceaux de CP. Un assemblage par scarfage est inutile, une simple languette suffit (fig. 32). Le positionnement longitudinal de la cloison est très important; les contours de la coque évoluant constamment, la cloison est correctement ajustée à son seul emplacement. Souvent, la surface de référence est le tableau arrière du bateau. Il faut tracer sur le ou les panneaux de fond une ligne de référence qui permettra le positionnement correct des différentes pièces. Une fois une cloison montée, il est possible de se repérer par rapport à celle-ci pour les autres renforts. Lorsque l'emplacement de la cloison est établi, celle-ci est présentée et son ajustement vérifié.

La fixation temporaire de la cloison est assurée soit par des vis prises dans des renforts déjà existants, soit à l'aide de cales de positionnement (fig. 33). Ces cales constituées de petits morceaux de bois (CP ou massif) sont agrafées ou vissées sur la coque de chaque côté de la cloison pour la maintenir en place à l'endroit désiré.

Les joints-congés sont réalisés partiellement entre les cales. Une fois que ceux-ci sont polymérisés, les cales sont enlevées et les cordons de mastic terminés.

La stratification des joints-congés est effectuée si nécessaire.

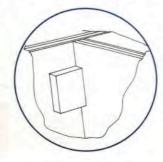
# Renforts et emménagements

Tous les renforts (varangues, lisses, renforts de quille, reprises de cadènes...) sont assemblés par collage ou par joints-congés. Certaines liaisons sont stratifiées. Le constructeur amateur doit respecter les indications d'échantillonnage données par le concepteur. Les emménagements font partie de la structure du bateau et sont collés à l'époxy suivant le même principe que les renforts (voir chapitre 8 : Agencement intérieur).

#### Renforts de lest

Un bateau en CP accepte tout type de lest. Il existe des dériveurs, des dériveurs lestés, des quillards, des biquilles...

En cas de talonnage, le CP n'est pas le matériau idéal, il résiste mal au cisaillement et au poinçonnement (*fig. 34*). La zone reprenant les efforts du lest doit donc être correctement renforcée, soit par une pièce de bois massif ou lamellé, soit par des fibres de renfort (verre, carbone...).



#### MULTICOQUES

Comme nous l'avons vu précédemment, la technique CP époxy se prête très bien à la réalisation de multicoques, de l'engin de plage au voilier de voyage.

Toutes les techniques décrites dans ce recueil sont applicables à la mise en œuvre des catamarans et des trimarans. Comme en monocoque, toutes les procédures de montage sont permises, mais la plupart du temps, ces bateaux sont élaborés de la façon suivante :



#### Fin de réalisation

Les coques sont réalisées l'une après l'autre (pour n'utiliser qu'un seu<u>l gaba-</u> rit) puis elles sont mises en place pour disposer les poutres puis la nacelle.

#### Des bateaux légers

En plus de la relative facilité de construction, le CP permet d'obtenir des multicoques légers.

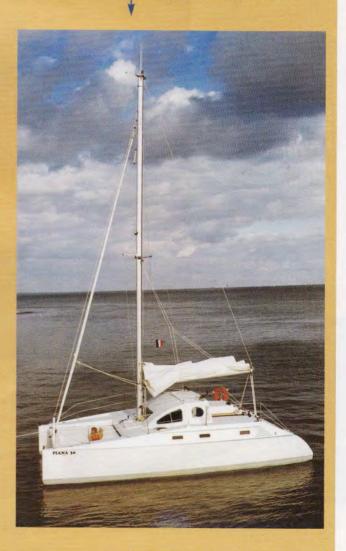


- réalisation des coques avec quelques cloisons sur mannequin mâle ou femelle,
- assemblages à plat des poutres avant et arrière,
- assemblage des deux coques avec les poutres,
- montage du plancher de nacelle,
- mise en place des renforts et emménagements,
- pontage.

L'exemple ci-dessus représente le montage d'un catamaran, Il est facile d'extrapoler la méthode au trimaran.

#### Un mode de construction adapté

Avec les bordés très droit des coques de catamarans et des fonds de coque relativement plat, la construction en CP s'applique bien à ce type de bateaux.





hammeail te acajour 35. doublante e a

oublante de voirch PM 160×12

acajou 35×25-

# RÉALISATION D'UNE COQUE EN CP COUSU/COLLE

#### PRINCIPE

La construction en CP C/C (CP cousu/collé) reprend le principe de la construction CP/époxy en ce qui concerne la liaison entre les panneaux de CP: les pièces sont liées par joints-congés éventuellement stratifiés. La méthode CP C/C diffère dans le maintien des bordés et des cloisons. Ici, nous n'utilisons pas de mannequin. Les différents bordés formant la coque sont positionnés ensemble grâce à des "coutures" prises dans le CP avec un fil en fibre ou en métal. De même, quelques cloisons sont cousues sur les bordés pour rigidifier la coque. Afin d'éviter de vriller le bateau, celui ci est posé sur deux ou trois bers pendant toute la durée de la construction.

En général, ce type de construction concerne les petits bateaux style dériveurs, annexes ou petits catamarans d'initiation et le montage est effectué "coque à l'endroit".

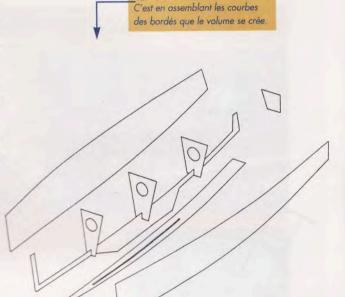
Il est indispensable de connaître les développés des différents bordés pour construire une coque en CP C/C. : c'est en liant les courbes des bordés entre elles que la forme prendra naissance (fig C35).

#### ASSEMBLAGE D'UNE COQUE EN CP COUSU/COLLÉ

Comme nous l'avons vu plus haut, les panneaux de CP sont découpés aux dimensions exactes données par les développés du plan. Des trous, de 1 millimètre de diamètre environ, sont pratiqués dans les bordés et les cloisons à 1 centimètre des contours. Ces trous, qui servent à la couture des panneaux, doivent respecter un positionnement longitudinal précis pour ne pas décaler les bordés les uns par rapport aux autres. A cet effet, il est conseillé de percer un bordé le long d'un bouchain et d'attendre le positionnement pour percer au fur et à mesure sur l'autre bordé. Nous procédons de même pour une cloison : d'abord effectuer les perçages sur celle-ci, puis après positionnement et repérage, sur les panneaux de la coque. L'espacement entre les trous est de l'ordre de 20 cm mais peut varier en fonction de la courbure du bouchain ou de l'épaisseur du CP.

L'une des difficultés de cette technique est le positionnement précis des cloisons. En fonction de la tension des coutures, l'une des pièces à assembler peut "venir" plus d'un côté que de l'autre. Pour résoudre ce problème, il suffit de placer des cales temporaires de positionnement comme pour une cloison avec la méthode CP/époxy (voir chapitre 6 pose d'une cloison).

Le choix du fil utilisé dépend aussi de la forme et de la taille des panneaux à assembler. Ce fil, qui permet la liaison temporaire des bordés, doit supporter les efforts dus aux déformations du CP. Pour un petit bateau de la simple ficelle à rôti suffit. Lorsque la taille est plus



Baille à mouillage

Des tasseaux sont nécessaires pour le collage du pont inaccessible par l'intérieur à cet endroit.



fig. C36 Liaison provisoire
de deux pièces en CP.

importante, le constructeur prend du fil de cuivre (du fil rigide pour installation électrique de 1,5 mm ou 2,5 mm dégainé). Le fil de cuivre se coupe très facilement. Le fait de torsader le fil de cuivre à l'aide d'une pince rapproche parfaitement les pièces en CP (fig. C36).

Les panneaux de CP sont, bien entendu, recouverts d'une première couche de résine époxy dite couche d'imprégnation. Une fois la coque montée avec ces bordés et quelques cloisons et éventuellement le tableau arrière, il est possible d'effectuer le collage par joints-congés. Deux solutions sont accessibles au constructeur amateur :

- enlever les fils des coutures. Les joints-congés sont arrêtés au niveau des fils qui sont enlevés une fois la résine polymérisée. Le fil de cuivre se coupe très facilement. Les joints-congés sont complétés par la suite.
- Laisser les fils des coutures. Les joints-congés recouvrent les coutures. Il est alors conseillé de prendre une spatule avec un grand arrondi et de passer à un mastic basse densité (voir les joints-congés). Lorsque la coque est retournée, les fils sont arasés à la pince coupante et les bouchains sont stratifiés.

Le reste de la fabrication suit les principes décrits précédemment. Seule exception, le collage d'un renfort style serre-bauquière qui est mis en place sur les bordés non maintenus dans un mannequin.

#### LIMITES DE LA MÉTHODE D'ASSEMBLAGE EN CP COUSU/COLLÉ

La méthode d'assemblage en CP cousu/collé, particulièrement adaptée aux petits bateaux, ne semble pas se développer et ceci pour plusieurs raisons :

- cette technique n'est pas adaptée aux chantiers qui préfèrent construire sur mannequin en prévision de la réalisation d'un autre bateau,
- il est difficile de coudre et de manipuler des panneaux de taille importante,
- les coques ont tendance à vriller,
- l'expression cousu/collé concernant un bateau n'est pas flatteuse et cette méthode n'est pas souvent prise au sérieux.

En fait, peu d'architectes se sont intéressés à ce type de construction qui s'adresse principalement aux constructeurs amateurs. Il est possible de construire des bateaux de taille moyenne assemblés avec cette technique, si la conception est pensée afin d'éviter notamment le vrillage de la coque. Les catamarans dessinés par James Wharram sont montés avec cette méthode jusqu'à une longueur de 10 mètres environ.

La mise en œuvre de coques en CP cousu/collé à partir de kit est intéressante. Il est possible aujourd'hui, grâce aux machines à commande numérique et aux découpes au laser, d'obtenir les dévelopés tout prêts et surtout d'avoir en plus les trous pour les coutures aux emplacements exacts.

Notons lors de la fabrication des petites embarcations, la possibilité

- bire participer des enfants au montage de la coque pendant les perations de couture.
- derniers points nous montrent que la construction en CP collé possède des intérêts et qu'elle peut encore être exploitée
- e perfectionnée pour proposer aux amateurs des constructions à l'arté rapides et fiables.

#### 6 PHASES DE CONSTRUCTION D'UN DORIS EN CP COUSU/COLLÉ



1 Les panneaux Réalisés dans du contreplaqué de 9 mm, ils sont prédécoupés suivant des gabarits très précis.



4 Joints-congés Une fais tous les panneaux assemblés, on resserre les agrafes et réalise les joints-congés intérieurs.



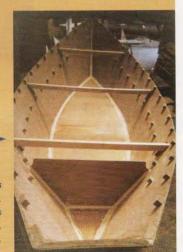
2 Les trous D'un diamètre de 3 mm, ils sont positionnés tous les 25 cm à 1 cm et 2,5 cm du joint suivant la partie de la coque.



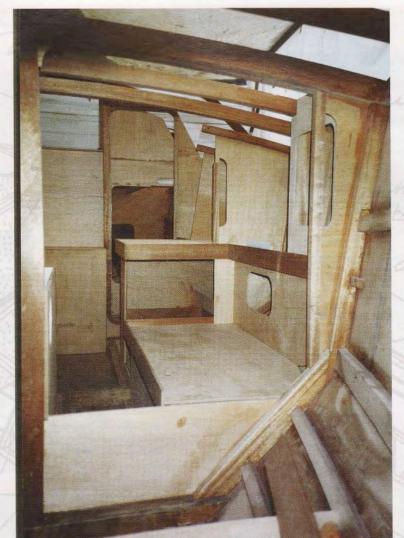
5 Renforts de verre
On attend 24 heures avant de
retirer les agrafes. Après avoir
complété les manques de mastic, on
applique les rubans de tissus de
verre avec de la résine époxy.



3 L'agrafage
Après avoir présenté
les panneaux l'un
contre l'autre, ils sont
liés par des fils de
cuivres isolés de 10
d'une longueur de 8 à
10 cm de long. Ils sont
enfilés par l'intérieur
puis torsaclés à la
pince sans trop serrer.



6 Finitions
Le doris est assemblé.
Il suffit de passer aux étapes
de finitions : ponçage,
vernis ou peinture...



nammeau te avajou & doublante &

pri 160x12

acajou 35x25

# AGENCEMENT INTÉRIEUR

C'est généralement à ce stade de la construction que sont complétés les aménagements intérieurs et cela essentiellement pour des raisons pratiques. L'absence du pont facilite l'accès à l'intérieur et l'introduction des divers éléments à mettre en place. En outre, et cela d'autant plus qu'il s'agit d'une unité de petite dimension, on bénéficiera d'une aisance de mouvement beaucoup plus importante.

Mais cela n'a rien d'impératif, et d'autres facteurs à prendre en compte peuvent amener à différer cette étape de la construction. Ce sera notamment le cas pour un professionnel chargé de la construction d'une coque pontée structurée, ou encore pour un amateur disposant de conditions matérielles de mise en œuvre précaires, qui, par exemple, préférera profiter de la belle saison pour achever tout le gros œuvre extérieur, et travailler l'hiver sur ses aménagements dans une coque pontée "fermée" plus facile à chauffer. Le travail à ce stade se limitera donc à la mise des quelques éléments nécessaires à la poursuite des travaux du pont du cockpit et du rouf.

Ce sont donc d'avantage des raisons pratiques et d'organisation qui vont décider du stade d'intervention des travaux d'aménagements. Notez enfin que l'on peut mener de front la réalisation de l'agencement intérieur, des finitions intérieures (peintures et vernis) et celle du pontage, progressivement, zone après zone.

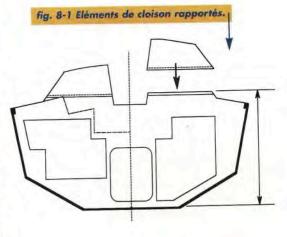
Quelle que soit la formule retenue, la première étape consistera, dans le cas d'une construction sur ossature bois plus particulièrement, à compléter la partie haute de certaines cloisons d'aménagement soutenant le rouf. En effet, lors de la fabrication de la coque, ces parties ne sont généralement pas mises en place pour faciliter le travail sur un mannequin abaissé. L'assemblage collé des éléments rapportés se fait par feuillures ou rainures et fausses languettes, comme évoqué au chapitre 2. On peut provisoirement raidir l'assemblage, le temps du collage, à l'aide d'une planche en interposant un polyane (fig. 8-1). L'étape suivante sera, elle, consacrée à la mise en place éventuelle de quelques façades longitudinales, comme celles de cockpit amenées à soutenir la structure du pont (fig. 8-2).

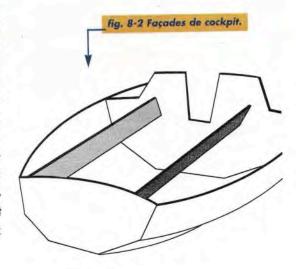
La fabrication des aménagements intérieurs ne présente guère de difficultés. D'abord, parce qu'à ce stade les cloisons et façades structurelles principales sont en place depuis le début de la construction, dans le cas d'une coque CP sur ossature bois, et rapportées dans celui d'une unité en CP-époxy. Ensuite parce que l'on utilise généralement des éléments rectilignes qu'ils soient en bois ou en CP, avec la plupart des assemblages à angles droits. Enfin, parce que les plans des architectes destinés à la construction CP sont généralement destinés à la construction amateur, avec tout ce que cela implique : plans détaillés et solutions techniques simples.

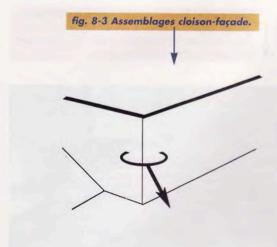
phoro 8.01 Agencement et pontage simultanés

Sever l'organisation choisie, on peut réaliser tout l'agencement et pontant ou commencer à l'étrave en pontant zone
par zone, une fois l'agencement terminé.





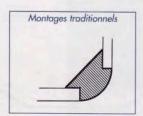


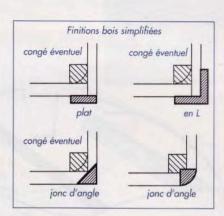




Nous limiterons cette partie à l'énoncé de quelques principes illustrés aux *figures 8-3* et *8-4*: les éléments mobiles ou amovibles en contreplaqué (dessus de coffre, fonds de couchette) sont posés sur tasseaux collés aux éléments structurels de la coque (cloisons, façades). Par contre, pour la mise en place d'éléments fixes du mobilier en contreplaqué rapportés à ce stade, on emploiera les procédés spécifiques aux différentes techniques utilisées pour la coque : celle des assemblages sur ossature bois avec des montages sur tasseaux de liaison, ou celle des joints-congés.

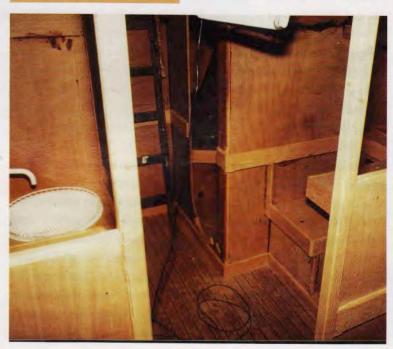
Notez pour finir que les finitions intérieures d'une unité en CP s'accommodent fort bien de solutions simples et légères à base de peintures et de vernis : laque blanche sur les éléments en contreplaqué, vernis sur les bois de structure et de finitions du mobilier, le tout égayé ponctuellement par quelques éléments colorés. C'est simple, souvent de bon goût comme tout ce qui est simple et fonctionnel, cela ne présente pas de difficultés particulières, mais cela prend du temps. Et le temps passé, 0 c'est toujours l'obsession du professionnel car c'est lui qui va rendre son produit compétitif ou non. Dans le cas d'une construction CP époxy, il faudra en outre prévoir au préalable le rattrapage à l'enduit des stratifications visibles des cloisons et façades structurelles. Pour éviter ce travail supplémentaire, certains constructeurs limitent le renforcement des congés par bandes de verre stratifié aux seules parties basses et cachées de la coque.

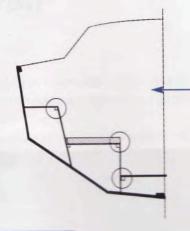




Avant la peinture

Tous les éléments d'aménagement sont en place. Il ne reste plus qu'à peindre et vernir les différentes parties.

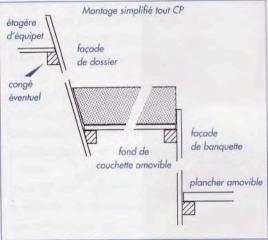




## fig. 8-4 Montages types d'agencement.

Epaisseurs courantes des CP :

- étagère fixe : 6 mm
- fond de couchette : 8 mm
- plancher : 12 à 15 mm



# étagère d'équipet fargue bois vernis congé éventuel plinthe bois vernis façade de banquette plinthe bois vernis

Montage avec bois décoratif

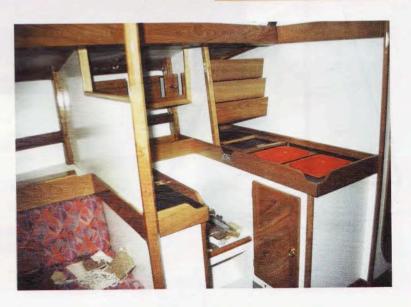
#### Un intérieur chaleureux

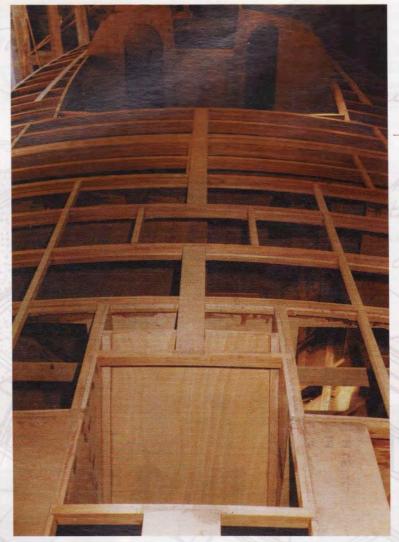
Comme tout ce qui est simple, l'assemblage entre laques et vernis donne une finition agréable.



#### Esthétique et entretien

Dans ce bloc cuisine, les panneaux sont laqués pour la facilité d'entretien et les apports de bois massif sont vernis pour l'esthétique et la chaleur.





te asajou 38 doublante a CPM 100=9

oublants de winch

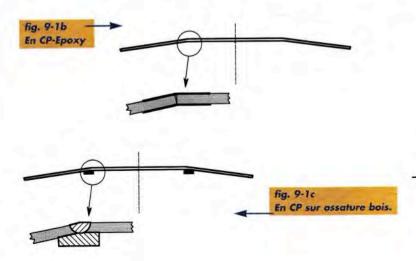
acajou 35x25-

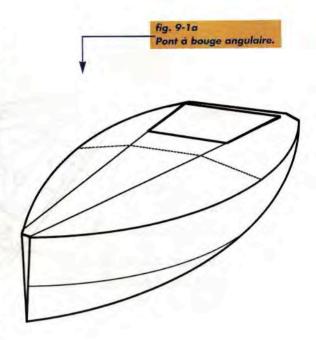
# E PONT

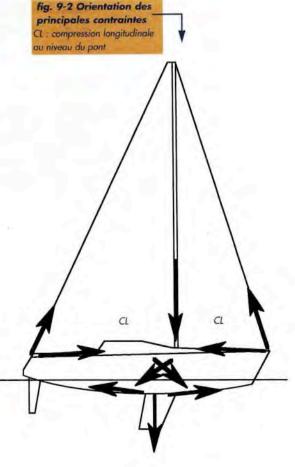
Quel que soit le principe constructif de la coque, celui utilisé pour la réalisation du pont d'une unité en contreplaqué s'apparente d'avantage aux techniques "CP sur ossature bois".

Rares sont en effet les configurations de pont permettant d'exploiter là encore les solutions techniques propres à la construction "CP époxy", à savoir des assemblages réalisés au moyen de congés d'adhésifs et de renforts stratifiés en verre. Parmi elles, il convient de citer celle d'un pont à bouge angulaire, dont le "Figaro" de l'architecte J-J. Herbulot est un exemple représentatif. Un pont à bouge angulaire s'apparente à une coque constituée de plusieurs éléments développables, et s'avère au même titre que celle-ci aussi bien adapté à une construction CP époxy que sur ossature bois (fig. 9-1a, b et c). Bien évidemment, cela ne sous-entend pas pour le concepteur de pouvoir opter pour l'une ou l'autre des techniques sans précautions particulières : un élément longitudinal de liaison en bois va participer à la résistance en compression longitudinale du pont (fig. 9-2). Il ne pourra donc pas lui être substitué un simple joint congé époxy armé d'un tissu bi biais. Il faudra soit opter pour un contreplaqué plus épais (dont un pli sur deux est correctement orienté pour résister à cette contrainte) avec l'inconvénient d'une majoration de poids, soit armer les congés en plus des bi biais par des tissus de verre unidirectionnels (UD) orientés longitudinalement et dimensionnés pour compenser la perte occasionnée par la suppression de l'ossature bois.

Aussi nous allons développer ici une technique de mise en œuvre valable pour toute construction CP, voir même pour bon nombre d'unités en bois moulé et strip planking, celle d'un pont en contreplaqué sur ossature bois. Quand cette technique présentera diverses variantes plus caractéristiques de l'un ou l'autre des principes constructifs initiaux elles seront signalées avant d'être développées.







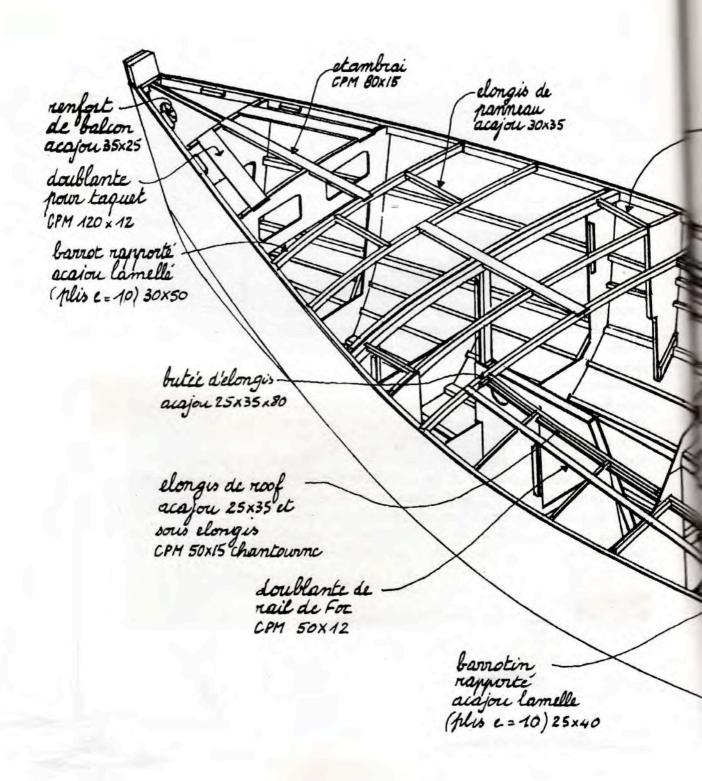
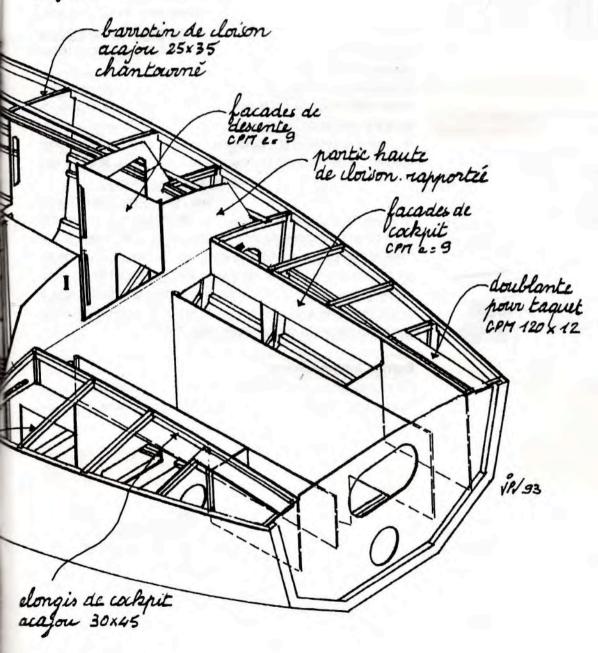


fig. 9-3 Réalisation et mise en place de la structure Technique aisée pour la construction en CP comme en bois moulé ou strip-planking, la construction d'un pont en CP sur ossature bois débute avec la mise en place des barrots structurels.

elongis de facado acajou 25×35



# pente dannée par la cloison

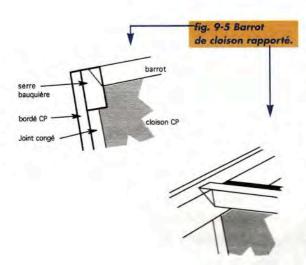
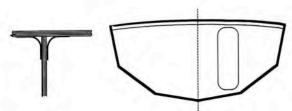


fig. 9-6 Liaison du pont cloison CP-Epoxy. Dans le cas d'une cloison complète, la liaison peut être assurée par des congés époxy stratifiés, dont le principal inconvenient sera d'ordre esthétique, si, pour gagner du temps, on n'opère pas de rattrapage à l'enduit.



#### RÉALISATION ET MISE EN PLACE DE LA STRUCTURE (fig. 9-3)

#### Equerrage des serres

La première étape va consister à assurer au rabot l'équerrage des serres bauquières suivant le bouge, c'est-à-dire dans le prolongement de la structure transversale en place (cloisons ou barrots de cloisons) (fig. 9-4). Cet équerrage préalable est indispensable à la mise en place de l'ossature transversale intermédiaire que sont les barrots et barrotins rapportés entre cloisons.

#### Barrots et barrotins rapportés des cloisons

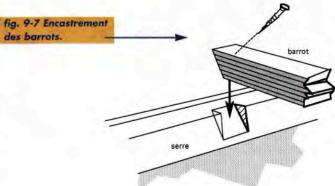
Dans le cas d'une unité en CP sur ossature bois, les cloisons sont, nous l'avons vu ; d'ors et déjà équipées de leurs barrots, ce qui ne sera pas forcement le cas d'une coque en CP époxy dont certaines cloisons viennent d'être rapportées.

Cette étape consistera à mettre en place les éventuels barrots et barrotins collés en partie haute des cloisons à l'aide de serre-joints. Si les joints congés de liaison sont interrompus sous la serre bauquière, il sera nécessaire d'encastrer les barrots dans les serres pour garantir l'assemblage de la cloison et de la serre (fig. 9-5). La réalisation de ce type d'assemblage est évoquée un peu plus loin.

Bien évidemment, dans une construction "CP époxy" dont la caractéristique est de substituer les éléments de liaison en bois par des joints congés, certaines cloisons seront dépourvues de barrot et barrotins et ultérieurement reliées au pont par des congés armés de tissus bi-biais stratifiés. Certaines d'entre elles cependant seront effectivement équipées de barrots structuraux en bois dont le rôle sera à la fois de résister aux contraintes exercées sur le pont et de faciliter la mise en place des contreplaqués (fig. 9-6).

#### **Barrots** intermédiaires

On va maintenant mettre en place les barrots intermédiaires, c'est-àdire les barrots franchissant la coque d'un bord à l'autre, implantés



entre cloisons. Ces éléments lamellés collés (voir Chapitre 2) sont encastrés et collés dans les serres au moyen d'encoches en biais, (fig. 9-7). La réalisation des encoches se fait comme celle développée au chapitre 5 pour les lisses de coque. Elles sont donc tracées, amorcées à la scie à dos et terminées au ciseau à bois.

Le premier de ces barrots est la "guirlande" d'étrave, implantée à l'extrême avant et collée vissée sur la face arrière de l'étrave (fig. 9-8). Elle sera généralement réalisée en massif chantourné et pourra ne pas être encastrée dans les serres. Notez, qu'il est possible également qu'elle ait été mise en place, collée à l'étrave dès le début de la construction de la coque, suivant les spécifications de l'architecte.

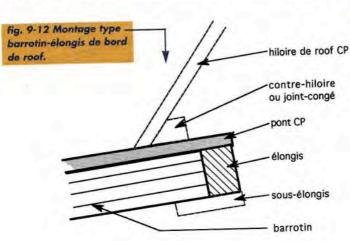


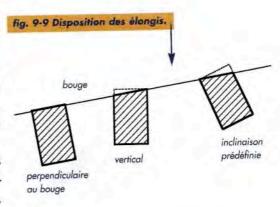
#### Elongis en bordure de découpes

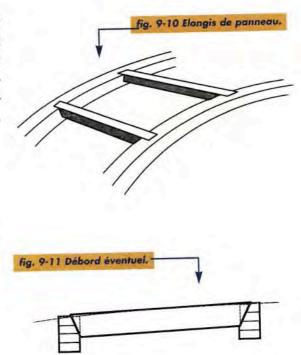
Avant de compléter la structure transversale du pont par les barrotins intermédiaires rapportés, il faut assurer la mise en place d'élongis longitudinaux en bois, qui vont servir de support à l'une des extrémités de ces barrotins.

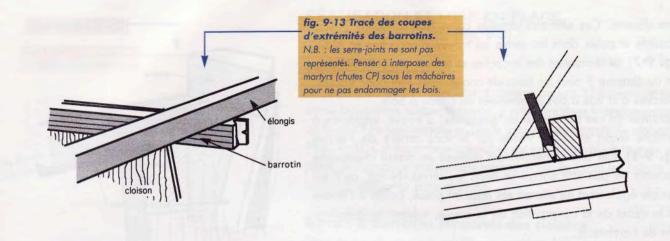
Ces élongis "supports" sont implantés en bordure latérale de découpe, d'un panneau ouvrant, d'un capot de coffre, du rouf ou du cockpit... Leur disposition sera, suivant les spécifications de l'architecte, orientée perpendiculairement au bouge, verticalement, ou toute autre inclinaison précisée sur les plans (fig. 9-9).

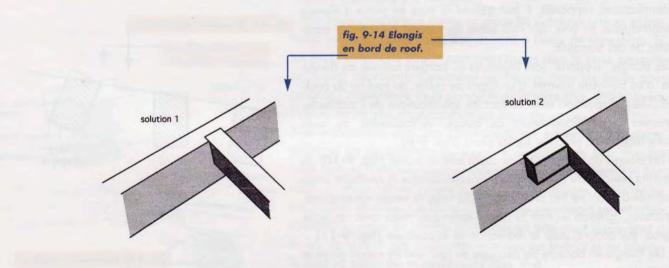
- Les élongis de panneau ou de capot sont en massif (fig. 9-10). Ils devront parfois être chantournés au dessus lorsque la courbure longitudinale du pont est très prononcée. Pour cela, ils seront mis en place, encastrés, toujours suivant la même technique, mais avec un léger "gras" (ou débord) pour la réalisation de la courbure (fig. 9-11).
- Les élongis en bordure de découpe de rouf sont en massif ployé et généralement disposés perpendiculaire au bouge. Leur hauteur est analogue à celle des barrotins de passavants. Ils sont le plus souvent simplement fixés (collés et cloués ou collés et vissés) en bout des barrotins en place. C'est le pont en CP, et un éventuel sous-élongis ultérieur, qui, en fait, assureront la tenue de l'assemblage (fig. 9-12).

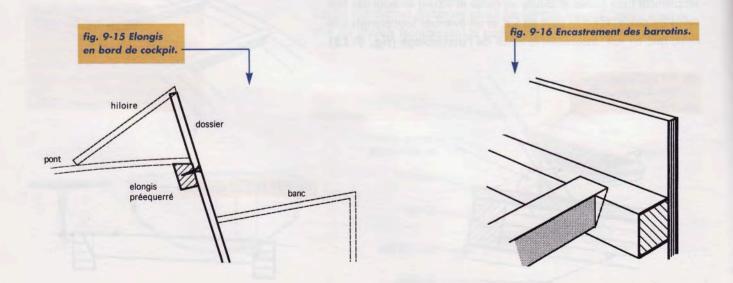












Dans un premier temps il convient de réaliser le tracé de découpe des extrémités de cloison. Le tracé au dessus sera défini à partir des cotes fournies, puis en cintrant l'élongis sur le dessus des barrotins, maintenu par des serre-joints. Il suffira ensuite de descendre les points à l'équerre sur les faces avants et arrières des barrotins pour obtenir le tracé complet (fig. 9-13).

Aux extrémités, ces élongis sont soit encastrés dans les barrots en place, soit, pour ne pas affaiblir ces derniers, fixés en butée sur un tasseau ou mini-barrotin de section équivalente (fig. 9-14).

Les élongis en bordure de cockpit répondent aux mêmes principes.
 Bien souvent, ils seront plaqués et collés aux façades de cockpit préalablement mises en place (fig. 9-15). Ils seront soit ployés, soit chantournés, soit contrecollés en plusieurs épaisseurs si le cintre longitudinal du pont l'impose.

#### Barrotins intermédiaires rapportés

La mise en place des barrotins intermédiaires rapportés entre serres et élongis est maintenant possible. L'assemblage se fera une fois encore avec des encoches en biais pratiquées dans les serres, ainsi que dans les élongis de cockpit. D'une manière générale, on utilise ce type d'encoches dès que le bois longitudinal rectiligne est porté par un élément en CP qui compense l'affaiblissement dû à l'encastrement (fig. 9-16).

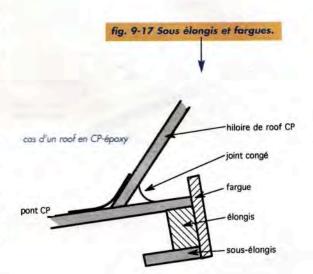
Par contre, et toujours suivant les spécifications du concepteur, on limitera la profondeur des encoches dans un élément ployé non doublé, et l'on préférera généralement confier le rôle de support à un sous-élongis lorsque cela s'avère possible, comme par exemple au niveau des passavants en bordure de rouf.

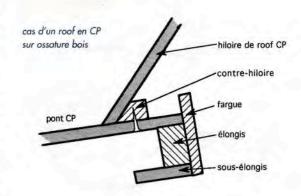
Les sous-élongis de rouf peuvent être en CP découpé. Dans le cas d'un rouf "CP époxy", ils peuvent être mis en place à ce stade. Par contre pour un rouf "CP sur ossature bois", ils seront rapportés bien plus tard pour ne pas gêner la fixation des contre hiloires de rouf si elles sont prévues vissées par-dessous. Le chant apparent des sous-élongis en CP sera masqué ultérieurement par une fargue (fig. 9-17).

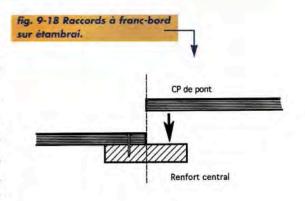
#### **Autres renforts**

On met ensuite en place les divers autres renforts (renfort central, élongis de renfort, renfort d'équipement de pont) longitudinaux prévus encastrés dans la structure en place :

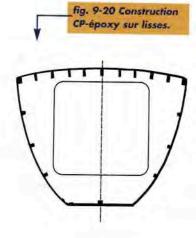
• il peut s'agir du renfort central du pont parfois appelé "étambrai" par analogie à ce renfort de pied de mat. Cet élément, en massif ou en CP, servira à l'assemblage "à franc bord" des CP de pont qui y seront collés (fig. 9-18). Cette liaison sera par la suite parfois renforcée par un cale-pied central extérieur sur des unités "CP à ossature bois" ou par une bande de verre stratifié suivant le concept "CP époxy".

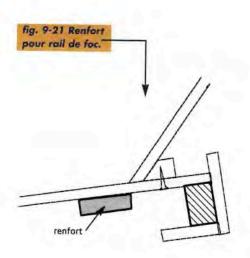












- Il peut s'agir encore de différents élongis de renfort ou "lisses de pont", destinés à structurer le pont en limitant le nombre de barrots lamellés. Ces élongis sont encastrés dans les barrots qu'ils franchissent, parfois à mi-bois si leur hauteur importante risque d'affaiblir le barrot (fig. 9-19). Il faut noter que bon nombre de multicoques en CP-époxy utilisent en réseau dense des lisses de pont encastrées dans la tête des cloisons CP structurelles, elles très espacées (fig. 9-20).
- Il peut s'agir enfin de renforts en massif ou en CP, spécifiques à des équipements de pont ou pièces d'accastillage : renforts de rails de foc (fig. 9-21), d'embases de balcons ou de chandeliers, encastrés et collés dans l'ossature en place.

#### Ragréage de la charpente et préparation du pontage

Maintenant que toute la structure du pont est en place, il faut assurer l'équerrage au rabot des éléments, à la pente requise pour offrir au pont une succession de surfaces bien continues.

Si la charpente est prévue vernis (comme c'est souvent le cas pour les barrots lamellés), on a tout intérêt à la traiter dès ce stade, puis à la protéger des coulures à venir (papier, bande cache... etc.)

#### PONTAGE

#### Débit

Les éléments nécessaires à la réalisation du pont sont débités dans les panneaux standards de CP. Pour réaliser les tracés, on positionne directement le panneau à sa place, avant de le redescendre pour en réaliser le débit et les sifflets d'assemblage.

Comme pour les bordés de coque, on peut prépeindre la face intérieure après masquage des zones à encoller.

#### Les assemblages

Les différents éléments sont soit préassemblés entre eux à plat avant mise en place au moyen de scarfs longs, soit assemblés directement sur la structure du pont, par scarfs courts à l'aplomb d'un élément structurel (barrot ou barrotin)., comme cela a été développé au chapitre 2 (fig. 9-23). Enfin transversalement la liaison se fait souvent "à franc bord" sur étambrai, comme cela a été évoqué précédemment.

#### Mise en place

Les panneaux sont ensuite mis en place définitivement, collés à la structure en place. La pression est assurée par des vis ou des pointes. On pensera à essuyer régulièrement les coulures de colle. Pour des vis provisoires, on pourra utiliser de la VBA, par contre s'il est spécifié une liaison mécanique définitive, on optera pour de la vis TF

(tête fraisée) inox ou de la pointe crantée inox. La pointe TF galvanisée à chaud est déconseillée au niveau du pont car elle laisse à la longue apparaître des traces de rouille. Les têtes des vis définitives doivent être chassées sur 1 mm environ (de l'ordre d'un pli de CP) puis mastiquées (à l'époxy chargé généralement).

#### QUELQUES FINITIONS

#### Traitement du livet

Le pont est arasé sur la périphérie dans le prolongement des bordés. Le chant sera protégé ultérieurement par un liston formant couvrejoint, à moins qu'il ne soit prévu, dans le cas d'une construction CPépoxy notamment, un léger arrondi recouvert par une bande de stratifié verre époxy; dans ce cas, mieux vaut opter pour des vis "provisoires" au niveau de la serre, afin de ne pas endommager les outils (fig. 9-24).

#### Doublantes rapportées

Il reste à mettre en place, coller sous le pont, quelques renforts spécifiques aux équipements de pont. Ces renforts, indépendants de la structure en place dans laquelle ils ne sont pas encastrés, sont appelés "doublantes intérieures". Ces doublantes peuvent être en contreplaqué ou en bois massif, suivant que les contraintes qui vont y être exercées aient ou non une orientation privilégiée.

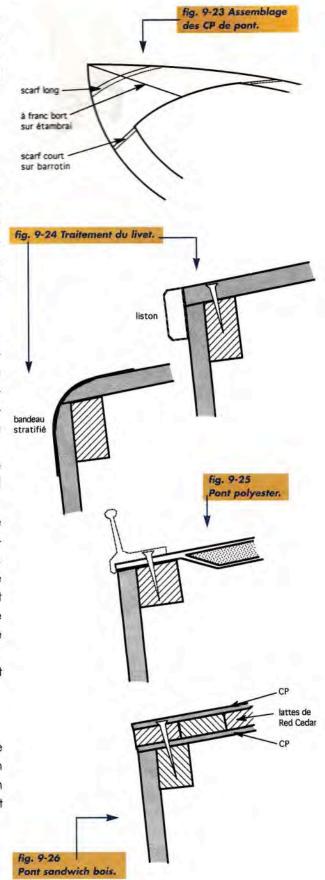
Ces doublantes peuvent être collées et vissées sous le pont, dès ce stade, notamment si le dessous du pont n'a pas encore été peint. Il s'agit donc d'un montage "rigide".

La mise en place de ces doublantes peut également intervenir lors de la pose de l'accastillage, et donc après peintures intérieures et extérieures. Les doublantes seront elles-mêmes prépeintes (ou vernis). Dans ce cas, on optera pour un montage souple en utilisant comme adhésif un mastic polyuréthanne mono composant (ex : Sikaflex) et la pression de serrage sera directement assurée par le boulonnage de la pièce d'accastillage. Pensez à dépolir et dépoussiérer la zone à traiter.

Notez pour finir que ces doublantes sont indispensables à tout rajout d'équipements sur le pont non prévus initialement.

#### VARIANTES

Le contreplaqué n'est pas la seule solution possible pour ponter une coque en CP. Certaines unités sont coiffées d'un pont moulé en polyester stratifié, comme le Sauvignon (fig. 9-25), d'autre enfin d'un pont préfabriqué en "sandwich bois", comme le Cabernet (fig. 9-26).



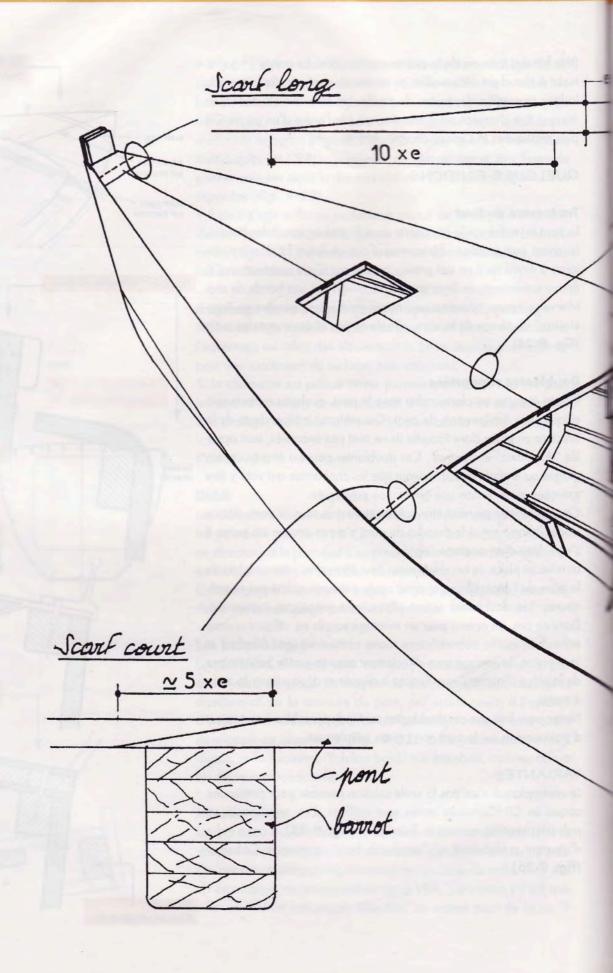
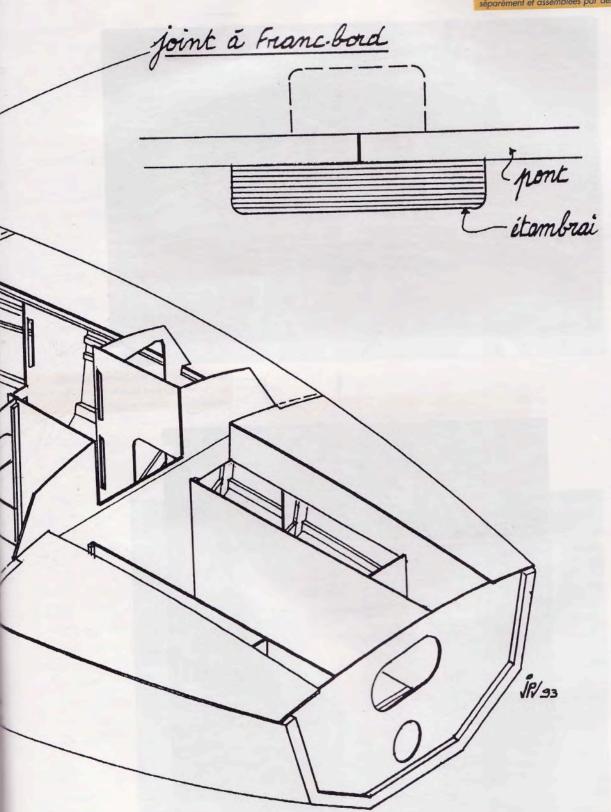


fig. 9-22 Le pontage Après avoir équerré les éléments de structure, les plaques de CP sont soit préassemblées par des scarfs longs puis posées, soit posées séparément et assemblées par des scarfs courts.



#### Charpente du pont

On voit bien la structure composée de barrots et de longis. A noter l'emplacement des panneaux sur l'avant.



#### Directement sur les aménagements La charpente de pont est fixée à partir des cloisons structurelles et des serres-bauquières





#### Pontage

Les panneaux de CP sont collés à la structure. La pression est assurée par des vis ou des pointes. Sur la photo ci dessous, on remarque que les pointes ont été disposées en quinconce pour ne pas générer de points de fendillement dans le bois brut.





te acajou 35x2 doublante d'ac CPM 100x9

Loublante de wirch

acajou 35×25-



# ROUF ET COCKPIT EN CP SUR OSSATURE BOIS

#### LE ROUF

Le rouf est généralement construit directement sur le pont et s'apparente à une petite coque en contreplaqué structurée par des éléments en bois massif ou en lamellé collé. Encore une fois tous les assemblages sont collés et cloués ou vissés.

La réalisation d'un rouf sur ossature bois peut présenter de nombreuses variantes de mise en œuvre, tant sur le plan des éléments constitutifs dans leur forme ou leur composition, que de leur ordre d'intervention dans leur processus de fabrication. Ces variantes seraient trop longues à décrire dans cet ouvrage. Aussi, nous nous contenterons de décrire un principe certes représentatif du travail que constitue ce type de réalisation mais sans prétention d'universalité, en vous proposant, une fois encore, de consulter le hors série n° 27 de Loisirs Nautiques au chapitre 17, pour de plus amples informations.

#### Tracés sur le pont

On commence par réaliser sur le pont le tracé de l'implantation du rouf d'après les éléments fournis sur les plans. Il faut tracer les cotes projetées "intérieures" aux peaux.

#### Gabarits de rouf

Pour compléter la structure de construction du rouf, on mettra en place des gabarits transversaux provisoires en agglo (e = 15, 19 ou 22 mm suivant la taille du rouf). Leur tracé sera réalisé à partir des cotes données sur les plans. La face de référence sera généralement la face opposée au coté le plus large du rouf, car comme pour les gabarits de coque, ils n'auront pas à être équerrés. Attention, les cotes données sont souvent les cotes extérieures. La découpe sera donc, à l'intérieur, décalée de l'épaisseur des peaux (hiloires latérales et pontage) (fig. 10-2).

Pour les gabarits portant des barrots, il faudra soit simplement tracer la position basse des barrots si leur mise en place intervient ultérieurement, soit réaliser la découpe s'ils sont prévus dès ce stade. Enfin certains barrots peuvent être prévus "accolés" aux gabarits, sans les chapeauter.

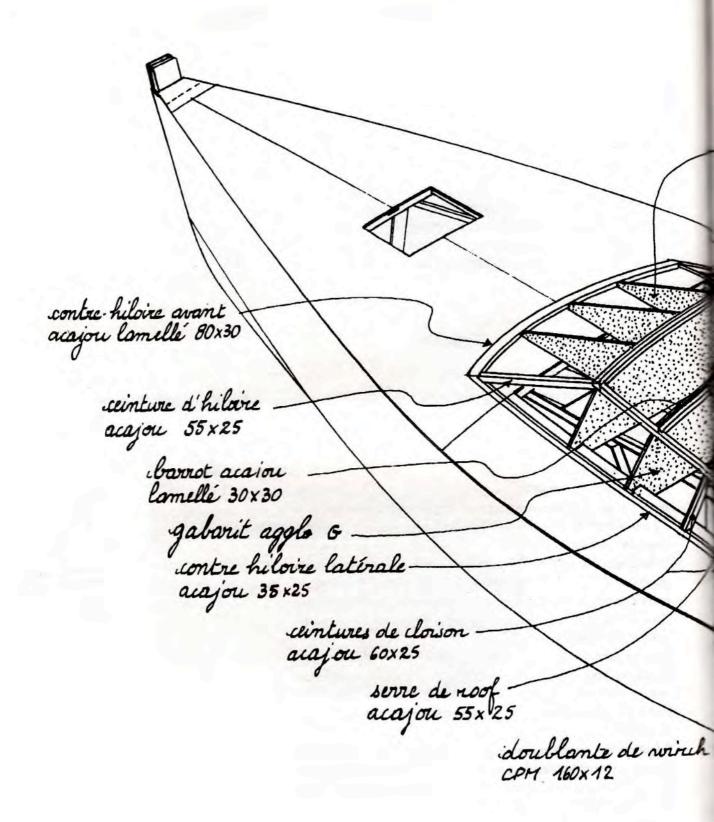
Il faut parfois prévoir quelques gabarits longitudinaux triangulaires en appui devant le premier gabarit transversal pour le formage de la contre hiloire avant, surtout si celle-ci est prévue en plusieurs plis de CP moulé.

#### Charpente du rouf

On commencera par mettre en place, collés et vissés sur les cloisons de rouf, les barrotins lamellés et les ceintures d'hiloires prévues.



fig. 10-2 Gabarits de roof.



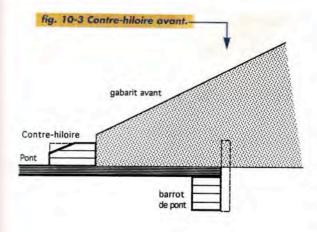
La structure du roof et du cockpit

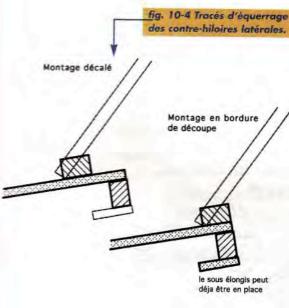
La constitution de la charpente du roof, vu ces formes relativement simples, s'apparente à celle d'une coque, en moins compliqué.

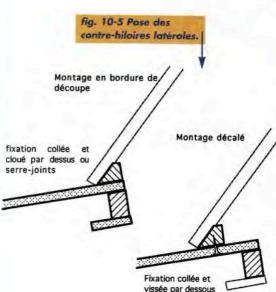
## gabarits nour morelage de l'hiloire avant

barrot avant acajou lamelle 80×30 ser gabarit agglo E elongis de nomneau de descente acajou 35x25 - doublante d'accastillage CPM 100x9 dossier de cockpit elongis acajou 25×35 —30×35 acajou 35×25 25×25

barrotins 25×35







On réalisera ensuite la contre hiloire avant, souvent en lamellé-collé, qui s'apparente à un barrot posé sur le pont (fig. 10-3). Cette pièce peut être moulée directement sur le pont à proximité de la découpe avant du rouf. Pensez à interposer du polyane pour les coulures sur le pont et des cales sous les mâchoires des serre-joints. Suivant ce principe, les gabarits provisoires triangulaires de l'avant du rouf ne seront mis en place qu'après ce moulage. Après dépose et finitions, elle pourra généralement être prééquerrée à l'établi d'après les cotes généralement fournies sur les plans.

Après réalisation des encoches au bas des ceintures de cloisons, on positionnera "à blanc" (vissées par-dessous mais non collées) les contre hiloires latérales en massif ployé (*fig.* 10-4), afin de réaliser leurs tracés d'équerrage et de coupes d'extrémités (pentes données par les cloisons et gabarits). Après dépose, elles seront équerrées puis remises en place, toujours à blanc.

Les serres de rouf et les montants avant (ceintures d'hiloires avant) sont présentés à leur tour, toujours à blanc, pour réaliser leurs coupes d'assemblage et leur équerrage. La mise en place des montants va permettre de vérifier, et de corriger éventuellement, l'équerrage des contre-hiloires latérales.

Lorsque tout semble parfaitement ajusté, on peut déposer l'ensemble de ces pièces montées à blanc pour assurer l'encollage et le montage final :

- on commence par les contre-hiloires avants et latérales, qui sont remises en place définitivement. Elles sont collées au pont, tenues par serre-joints, clouées par-dessus ou vissées par-dessous suivant la configuration de l'assemblage (fig. 10-5).
- On passe ensuite aux serres de rouf et aux montants avants. Les serres sont collées et vissées aux ceintures de cloisons dans lesquelles elles sont encastrées. Si l'ordre de montage des peaux CP du rouf le permet, elles seront en outre tenues par serre-joints (orientés transversalement ou verticalement) fixés dans des lumières (découpes) pratiquées dans les gabarits transversaux provisoires, jusqu'à mise en place soit du pontage en CP du rouf, soit des hiloires suivant l'ordre prévu de mise en place.
- On peut alors mettre en place les éventuels sous-élongis de pont en CPM chantournés, (évoqués lors de la construction du pont), situés en bordure de découpe du rouf. Leur mise en place avait été différée pour permettre le vissage par-dessous des contre hiloires latérales déportées.

Les hauts d'éventuels gabarits porteurs de barrots sont alors découpés pour permettre la mise en place des barrots lamellés.

Le barrot avant est alors présenté et, après encochage des serres et montants avants, collé en place. Il aura été au préalable prééquérré suivant les cotes données sur les plans ou définies après mise en place provisoire. - On posera ensuite, suivant des principes analogues à ceux décrits pour l'ossature du pont, les éventuels barrots intermédiaires rapportés, élongis, étambrais, barrotins et renforts encastrés.

Après ragréage général au rabot, ponçage et dépoussiérage, on pourra envisager la réalisation des vernis.

Il est préconisé, nous l'avons vu, d'effectuer un montage à blanc de la plupart des pièces pour permettre l'éventuelle réfection d'éléments ratés. La structure du rouf étant à hauteur des yeux et prévue vernis... Mieux vaut ne pas se louper!

#### Contre-plaqués de rouf

L'ordre de montage des différents éléments en CPM, collés vissés à la structure en place, peut différer d'un modèle à l'autre, suivant le nombre de constituants, voire suivant le type de finition envisagé au niveau des arêtes vives (couvre joint, jonc d'angle demi rond ou simple recouvrement) (fig. 10-6).

Prenons tout d'abord l'exemple d'une unité d'aspect traditionnel, dont les hiloires et le pontage sont prévus en une seule épaisseur de CP terminée, avec couvre-joint de finition en bois mouluré. La pose des hiloires latérales devra précéder celle du pontage.

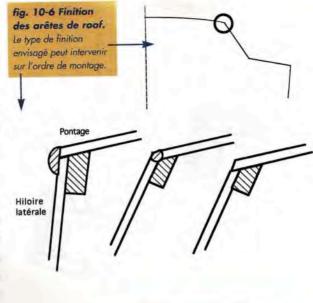
Prenons maintenant l'exemple d'un rouf plus contemporain dont la finition est assurée par un jonc encastré comme aux bouchains de coque. L'ordre de mise en place intervient peu a priori.

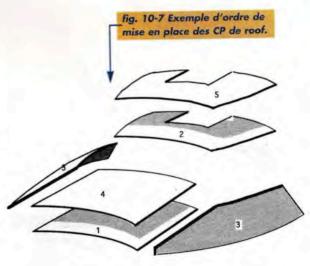
Terminons par l'exemple que nous allons développer maintenant d'un rouf dont les hiloires latérales sont en une seule épaisseur de CP de 15 mm mais le pontage et l'hiloire avant sont moulés en deux plis de CP contrecollés (9 + 6 = 15 mm), et dont les arêtes sont simplement adoucies par un léger arrondi ultérieurement protégé par imprégnation époxy (fig. 10-7). L'ordre de montage pourra être le suivant :

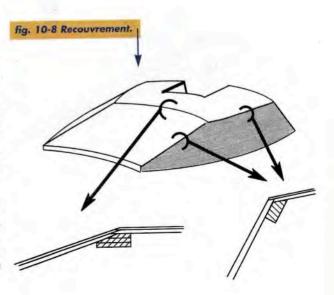
- premier pli de l'hiloire AV en 9 mm
- premier pli du pontage en 9 mm
- hiloires latérales en 15 mm
- second pli de l'hiloire avant en 6 mm collé sur le premier
- seconds plis du pontage en 6 mm collé sur le premier.

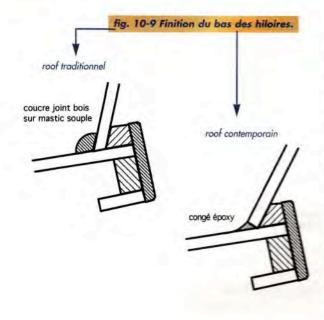
Le résultat de l'alternance des différents recouvrements est donné à la *figure 10-8* et assure une protection satisfaisante des chants de CP, hormis les plis de 6 mm qui seront soigneusement imprégnés d'époxy mais restent facilement accessibles pour surveillance et entretien régulier. L'intérêt de ce type de montage réside dans la réalisation d'un pontage "moulé" offrant une bonne résistance sous la charge.

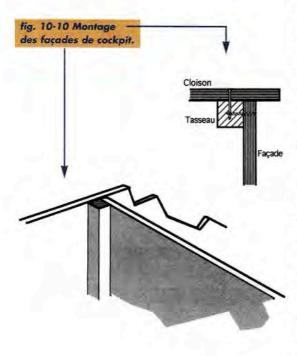
Un pontage en plusieurs plis moulés par exemple va permettre au concepteur de limiter à l'essentiel le nombre de barrots et augmenter la hauteur praticable à l'intérieur pour une hauteur de rouf donnée. Il n'en demeure pas moins que chaque recouvrement de plis impose











un équerrage préalable du précédent et un temps de mise en œuvre rapidement prohibitif lorsque l'on arrive à des pontages moulés en trois épaisseurs. Dans ce cas, la finition par joncs d'angle demi rond encastrés, outre son efficacité en tant que couvre-joint de protection, présente un réel intérêt.

Pour le collage de plis moulés, on optera soit pour la colle PPU, soit pour une formulation époxy à la fois garnissante et de faible densité (voir chapitre 4), car il est difficile d'assurer une pression de collage uniforme sur de telles surfaces. Pour le serrage, on utilisera des agrafes ou des pointes préclouées sur lattes.

#### Finitions du rouf

Après ragréage général des différents CP, on mettra en place, outre les possibles joncs d'angle, l'éventuel couvre-joint en bois à l'avant du rouf. On réalisera un léger arrondi sur les arêtes extérieures du rouf pour les rendre moins vulnérables.

On réalisera la finition au bas des hiloires latérales à la jonction avec le pont. Pour un rouf de forme traditionnelle, cela consistera généralement à mettre en place un couvre-joint mouluré, soit collé rigide à ce stade de la construction, soit posé sur mastic souple, mais après réalisation des peintures ou vernis extérieurs. Pour un rouf aux lignes modernes, le bas des hiloires latérales sera vraisemblablement traité par mastic époxy fini par un joint-congé (fig. 10-9). Comme pour le pont, la mise en place de doublantes intérieures pour l'accastillage de rouf peut intervenir à ce stade de la construction pour un collage rigide ou après peintures, sur mastic souple.

On réalisera les découpes des hublots de rouf et si ce n'est déjà fait, celles de coque. Attention, pour les hublots ouvrants du commerce, mieux vaut disposer des hublots avant de pratiquer leur découpe, d'autant que généralement un croquis coté, voire parfois un patron grandeur nature, est fourni avec la pièce à installer.

#### LE COCKPIT

Quelle que soit la configuration du cockpit en construction CP sur ossature bois, son principe de mise en œuvre du cockpit est le suivant.

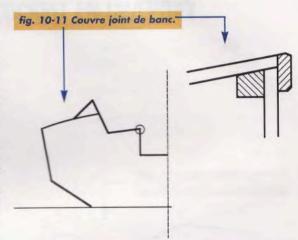
#### Gros œuvre

Les façades longitudinales du cockpit (flancs, dossiers) sont découpées dans des feuilles de contre-plaqué et fixées collées et clouées (ou vissées) sur des montants en bois portés par les cloisons transversales (fig. 10-10). Ces façades vont porter à leur tour des élongis et les cloisons des barrotins d'extrémités. Entre ces élongis de façades on va mettre en place des barrotins intermédiaires, toujours en bois massif, qui y seront encastrés.

On complète ensuite la structure par d'éventuels renforts en massif ou

en CP suivant les spécifications des plans, tels que les renforts pour winches d'écoutes, de pied de table de cockpit, etc., encastrés dans l'ossature déjà en place. Encore une fois, tous ces assemblages sont collés et cloués ou vissés encastrés. On rapporte ensuite les éléments en CP sensiblement horizontaux tels que le fond (ou "plancher" de cockpit), le dessus de banc si ceux-ci sont prévus en CP, les éventuelles hiloires de cockpit, etc.

La réalisation du cockpit ne présente guère de difficultés suivant ces techniques, car généralement ne sont utilisés que des éléments rectilignes. De plus, la plupart des assemblages présentent des angles constants, prédéfinis par l'architecte, permettant le prééquerrage mécanique des pièces à mettre en place.



#### Finitions du cockpit

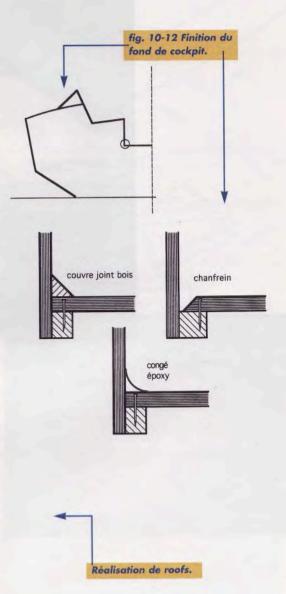
Un cockpit en CP réalisé suivant la technique qui précède va requérir quelques précautions au niveau des finitions, notamment pour la protection des chants des contre-plaqués.

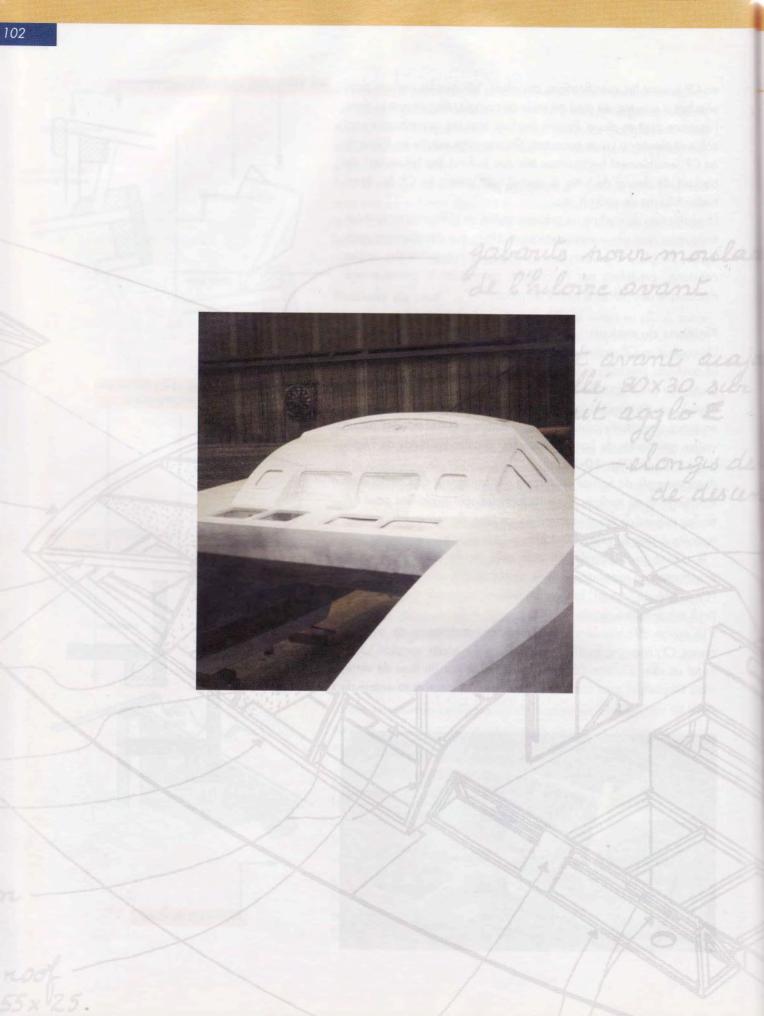
Dans le cas de bancs style "caisson" en CP, cela va consister à mettre en place des couvre-joints d'usure, d'autant plus nécessaires sur un voilier que l'arête du banc opposé sert à caler les pieds de l'équipage à la gîte (fig. 10-11).

Autre exemple de finition spécifique : le traitement de l'angle entre fond et flanc de cockpit. Plusieurs formules sont exploitées pour éviter les risques de pourrissement de ce type de recoin où l'eau est appelée à stagner (*fig.* 10-12) :

- le couvre joint d'angle, en bois collé rigide à ce stade de la construction ou rapporté sur lit de mastic souple après peinture.
- L'assemblage "ouvert" laissant facilement accessible le chant du CP pour son entretien régulier.
- Le congé d'époxy chargé emprunté aux techniques de mise en œuvre CP/époxy, à la différence près qu'il n'a pas vocation ici de jouer un rôle structurel (et n'est pas renforcé par un tissu de verre) mais simplement pour son rôle de protection efficace et sa netteté du point de vue aspect.







# RÉALISATION DU ROUF ET DU COCKPIT EN CP/ÉPOXY

#### LE ROUF

Le rouf construit en CP/époxy est monté sans renfort en bois massif ou lamellé, ce qui permet de gagner de la hauteur sous barrot. Les formes des roufs sont variables mais il est toujours possible de les rapprocher aux formes d'un bateau. Il semble donc logique de les construire comme des coques sur des mannequins mâles ou feme les. Les courbures de la face supérieure (le pont) ou de l'hiloire avant sont parfois importantes et ceci dans le but d'améliorer l'esthétique et la résistance de forme. Ces faces ne peuvent pas être réalisées en un seul panneau de CP épais mais en deux voire trois feuilles de CP de

Compte tenu de ces remarques, nous distinguons deux types de fabrication de roufs :

- assemblé sur mannequin et fixé par la suite sur le pont,
- monté directement sur le pont.

plus faible épaisseur.

Il existe de multiples possibilités de forme de roufs, nous nous bornerons à l'exemple d'un rouf simple décrit sur la **figure C38**. Ce type de rouf est celui le plus souvent observé sur les voiliers modernes en CP. Nous traiterons le cas d'un rouf de 15 mm d'épaisseur avec le pont et l'hiloire avant constitués de deux feuilles de 6 mm et 9 mm.

#### Rouf assemblé sur mannequin

Un rouf, comme une coque, peut être assemblé sur mannequin. Le mannequin femelle ne semble pas procurer d'intérêt particulier. Ce mannequin, plus encombrant que le mannequin mâle, offre principalement l'avantage de pouvoir travailler à l'intérieur de la pièce assemblée sans la retourner : avantage nul dans le cas présent, aucun renfort n'est à placer dans le rouf et sa manipulation ne pose pas de difficulté car son poids reste modeste.

Le mannequin est donc de type mâle. Il faut tenir compte des remarques données dans le chapitre 6 pour le traçage et la découpe des gabarits.

La seule différence entre le montage d'une coque et d'un rouf est l'utilisation de panneaux réalisés en plusieurs épaisseurs. Le mannequin est donc prévu pour effectuer les collages des CP fins les uns sur les autres : l'espacement entre les gabarits doit être calculé en prenant non pas l'épaisseur du panneau fini mais l'épaisseur de la feuille la plus mince entrant dans la fabrication du panneau (voir chapitre 6 le tableau C1).

Sur mannequin, la procédure d'assemblage respecte la chronologie suivante :

- mise en place sur le mannequin des hiloires latérales avec des vis provisoires,



Mannequin pour la réalisation du roof.







- équerrage des hiloires latérales,
- mise en place sur le mannequin des deux feuilles qui constituent l'hiloire avant,
- équerrage de l'hiloire avant,
- mise en place sur le mannequin des deux feuilles qui constituent le pont (fig. C39).

La fixation temporaire des panneaux sur le mannequin est assurée par des vis. Les deux feuilles des panneaux d'hiloire avant et de pont sont collées directement sur le mannequin, le serrage est effectué par des agrafes ou des clous en chapelet (voir le chapitre 9 le collage des ponts).

Le collage sur les chants équerrés permet le démontage de toutes les vis et les bandes d'agrafes et de clous (chapelets) avant de stratifier les angles extérieurs avec des tissus bi-axiaux.

Ne pas oublier de protéger les gabarits avec du polyane afin de ne pas les coller aux panneaux de CP du rouf.

Les opérations de finition sont réalisées en même temps que celles du pont. Il est parfois intéressant de découper, pour une meilleure aisance, les ouvertures des hublots avant de poser le rouf sur le pont.

Les stratifications intérieures sont exécutées le rouf à l'envers ce qui s'avère plus pratique. C'est là une des facilités de la construction sur mannequin.

Le positionnement du rouf sur le pont doit être précis. Le constructeur amateur trace et aligne les axes de symétrie du pont et du rouf. Les différents assemblages par joints-congés et stratification sont repris sur les croquis de la *figure C40*.

Roof construit directement sur le pont d'un catamaran.





#### Rouf assemblé directement sur le pont

Il est très facile d'assembler le rouf directement sur le pont. De nombreux roufs de bateaux sont construits ainsi. Le montage s'élabore sur les pièces déjà en place en fixant les panneaux du rouf temporairement à l'aide de vis.

Au préalable à tout positionnement, l'hiloire avant et le pont sont préformées. Les arrondis de ces panneaux sont obtenus en assemblant plusieurs feuilles de CP sur des moules encore appelés préformes. Les préformes sont fabriquées, avec des tasseaux de sections importantes vissés et collés sur des gabarits en aggloméré. Le serrage est assuré par des tiges filetées reprenant des tasseaux appelés mâchoires. Rappelons qu'avec les résines époxydes, la pression de collage ne doit pas être excessive. Un léger film de résine chargée doit rester entre les parties à coller. Il s'agit d'une "pression de contact".

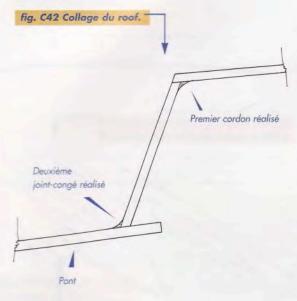
Les découpes des feuilles de CP sont prévues avec une marge de quelques centimètres, la pièce est retaillée et ajustée après collage. Les chantiers construisent des préformes de grandes dimensions qui peuvent être utilisées totalement ou partiellement suivant la taille des pièces à faire.

Comme nous l'avons vu, les différentes parties du rouf sont vissées sur la cloison de cockpit, sur le pont... Il est parfois nécessaire de s'aider de cales de positionnement comme indiqué sur la *figure 41*. Le constructeur commence par monter les hiloires latérales, l'hiloire avant et le pont. A partir de 8 mm d'épaisseur, Il est possible de visser dans l'épaisseur d'un panneau pour fixer un autre élément du rouf.

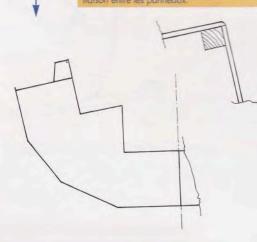
fig. C41 Utilisation des cales pour le positionnement des hiloires latérales.

Préforme permettant de coller plusieurs feuilles de CP pour obtenir un panneau cintré.





Far endroit, il est nécessaire d'utiliser des tasseaux de bois massif pour assurer la liaison entre les panneaux.



Cockpit monté sur la structure du voilier.

Les premiers joints-congés mis en place sont ceux assurant la liaison entre le pont du rouf et le haut des hiloires à l'intérieur du bateau et ceux assurant la liaison entre le pont du bateau et le bas des hiloires sur l'extérieur (fig. 42).

Après avoir enlevé les vis, arrondi les angles, les liaisons sont terminées de chaque côté par joints-congés renforcés si nécessaire et par stratification.

#### LE COCKPIT

Parallèlement à l'installation des cloisons, des différents renforts et des emménagements, le constructeur amateur assemble le cockpit de son bateau. Suivant l'agencement du cockpit, il peut être terminé qu'après le pontage de la partie arrière de la coque.

Là encore, il existe de nombreuses possibilités de formes et de structures. Le cockpit peut être monté sur les éléments de structures, dans le sens transversal :

- la cloison de cockpit,
- le tableau arrière ou une partie du tableau arrière sur un cockpit ouvert,
- une cloison de coffre...

Et dans le sens longitudinal :

- une cloison de cabine,
- une cloison de coffre,
- un renfort d'aménagement

Les différents panneaux de cockpit sont vissés provisoirement sur différentes cloisons et renforts. Les liaisons sont ensuite toujours assurées par des joints-congés dans les angles fermés et des stratifications sur les angles ouverts.

Si une liaison, entre deux pièces en CP, n'est pas accessible (coffre...) par l'intérieur de la coque, il faut coller les deux parties par l'intermédiaire d'un tasseau de bois massif comme en construction CP sur ossature bois (fig. 43).



Cockpit terminé après le pontage.



gabouts nour moulage



hammeau te acejou 35x doublante d'a CPM 100x9

doublante de winch

acajou 35×25

# INITIONS ET ÉQUIPEMENTS EXTÉRIEURS EN BOIS

Le gros œuvre en bois du bateau est maintenant terminé. Quelle que soit la technique jusqu'à présent utilisée pour la mise en œuvre d'une unité en bois collé (CP, CP - époxy, bois moulé, strip-planking), il reste à réaliser et à mettre en place quelques équipements extérieurs en bois.

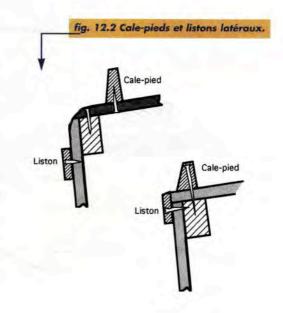
Les détails spécifiques de réalisation de ces équipements sont normalement donnés sur les plans de l'architecte car chaque modèle a son style propre. Cependant la réglementation présente parfois quelques exigences en la matière. Ainsi par exemple, les cale-pieds doivent présenter une hauteur minimale de 30 mm.

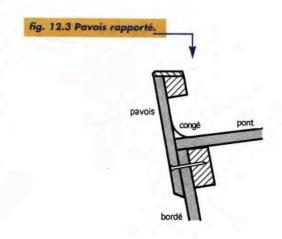
La mise en place des équipements en bois du pont peut intervenir à ce stade de la construction Ce sera le cas notamment des éléments prévus peints en même temps que le reste du pont, du rouf et du cockpit. Ces équipements seront généralement réalisés en acajou et collés "rigide", par exemple comme des plots, supports de mains courantes de rouf, elles seront rapportées ultérieurement. Mais ce peut être le cas également d'éléments à vernir (en acajou, teck... Etc.) ou d'éléments laissés bruts (teck ou iroko...).

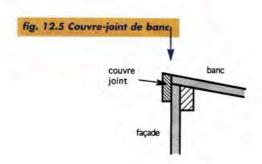
La mise en place peut également n'intervenir qu'après réalisation des peintures extérieures. Ce sera le cas souvent d'éléments laissés "bruts" utilisant des bois gras "autoprotégés". Le montage sera du type "souple", avec un collage sur lit de mastique polyuréthanne (type Sikaflex) précédé par un dépolissage et dépoussiérage local de la peinture.

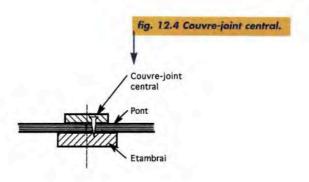
Voici un inventaire, non exhaustif, de ces équipements et quelques exemples de réalisation :

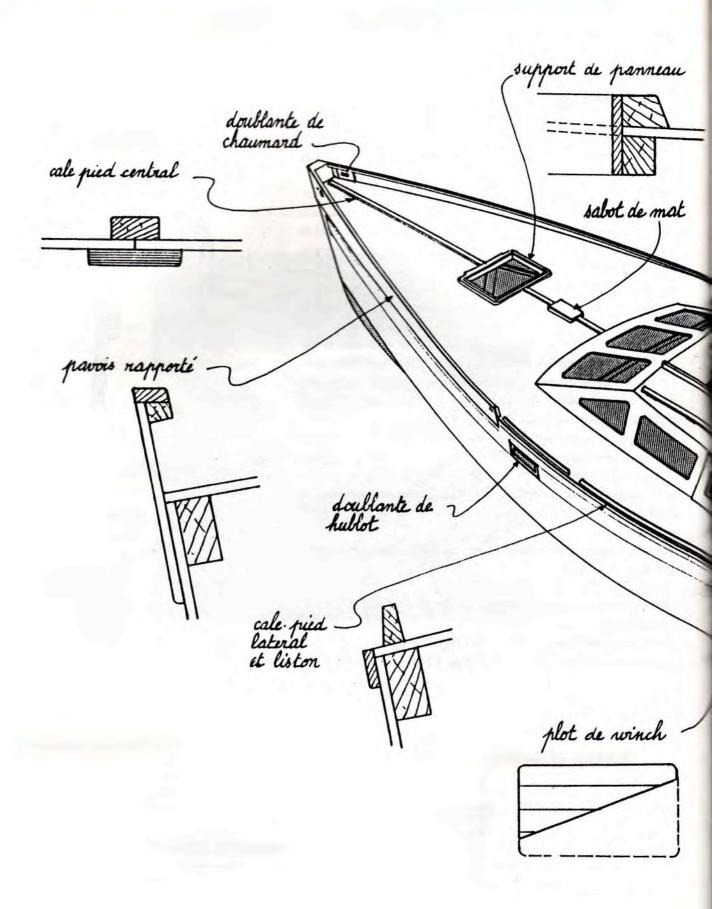
- éventuel pont latté,
- listons et cale-pieds latéraux (fig. 12-2),
- pavois rapporté (fig. 12-3),
- cale-pied central formant couvre-joint (fig. 12-4),
- couvre-joints de rouf ou de cockpit (fig. 12-5),

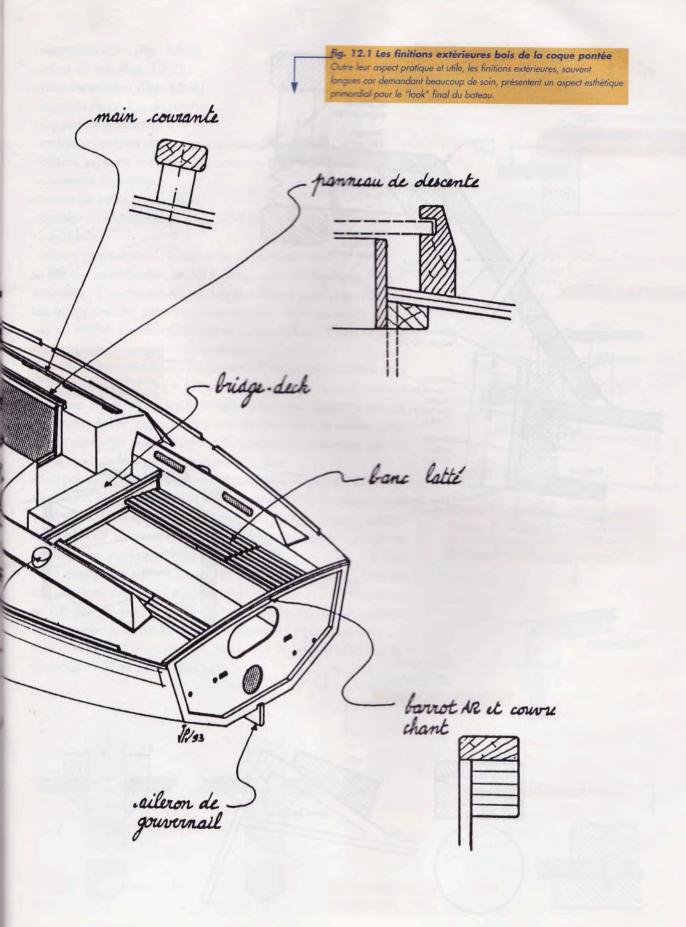


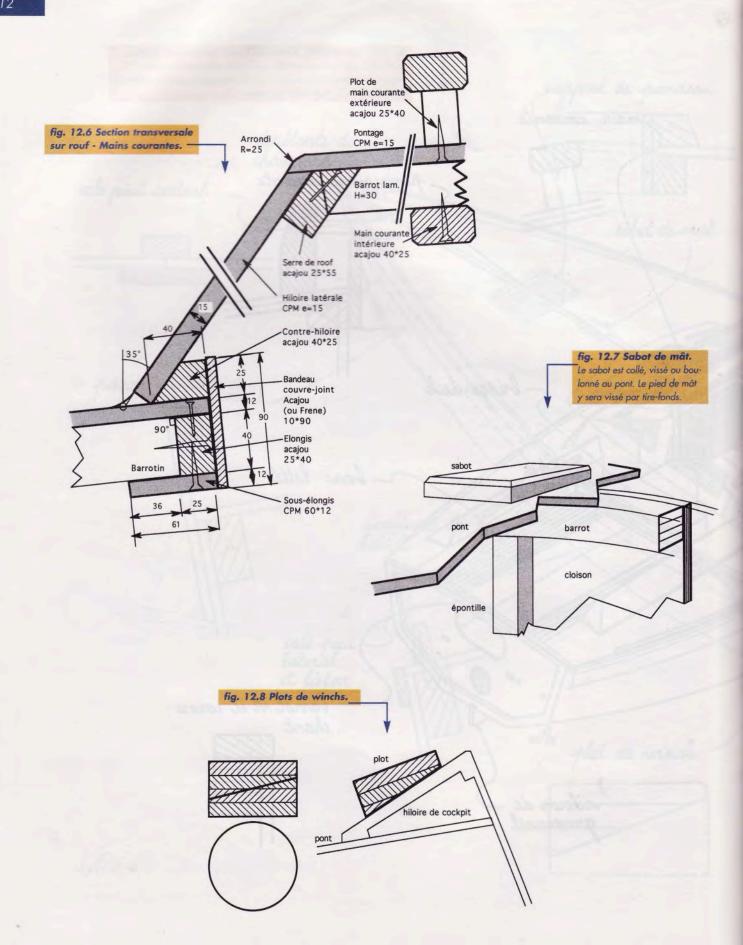












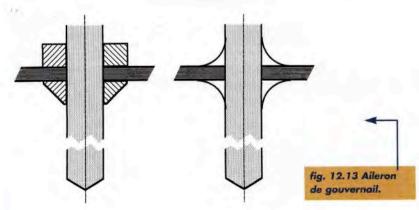
- mains courantes (fig. 12-6),
- sabot de mat (fig. 12-7),
- plots de winches (fig. 12-8),
- supports de poulies de renvois,
- support de guindeau,
- cadres et supports de panneau ouvrant (fig. 12-9).
- cadres, supports et capots de coquerons (fig. 12-10).
- couvercles de coffres,
- trappe de baille à mouillage,
- doublantes d'accastillage (fig. 12-11).
- bancs lattés,
- aileron de gouvernail, safran et barre franche... etc.

La tête des vis de fixation de ces éléments sera soit mastiquée (finition économique), soit masquée par tapots collés en bois (*fig.* 12-12). Les tapots sont des petits bouchons en bois, collés en place, enfoncés au maillet. L'excédent est ôté au ciseau à bois. Il faut veiller à bien respecter l'orientation du fil du bois.

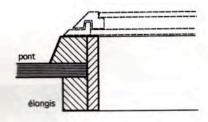
Pour les éléments constitutifs du gouvernail, les principes utilisés pour la fabrication de la coque (CP sur ossature ou CP époxy) pourront avoir une incidence sur les techniques employées. Cela n'a rien de systématique, car les passerelles sont nombreuses à ce niveau, mais surtout parce que cela correspond à une certaine cohérence, voir un état d'esprit de la part du concepteur.

Ainsi par exemple un aileron de gouvernail en bois ou en CP encastré dans la coque sera par exemple collé en place sur massif avec montage d'étanchéité "souple" à l'encastrement, technique caractéristique du CP sur ossature, ou encore monté rigide avec congés et stratifié, plus représentatif des techniques CP époxy (fig. 12-13). Autre exemple, le safran : il sera par exemple profilé en CP, dans un cas simplement imprégné d'époxy avant peinture, et dans l'autre cas en CP, voir en mousse rigide renforcé de stratifié. Les échantillonnages respectifs seront évidemment déterminés en conséquence.

Pour complément d'information, nous vous invitons à consulter les chapitres n° 19 et 24 du Hors Série n° 27.







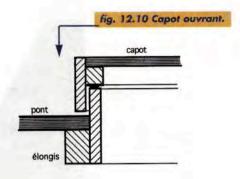
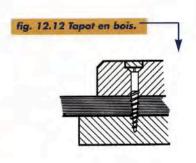
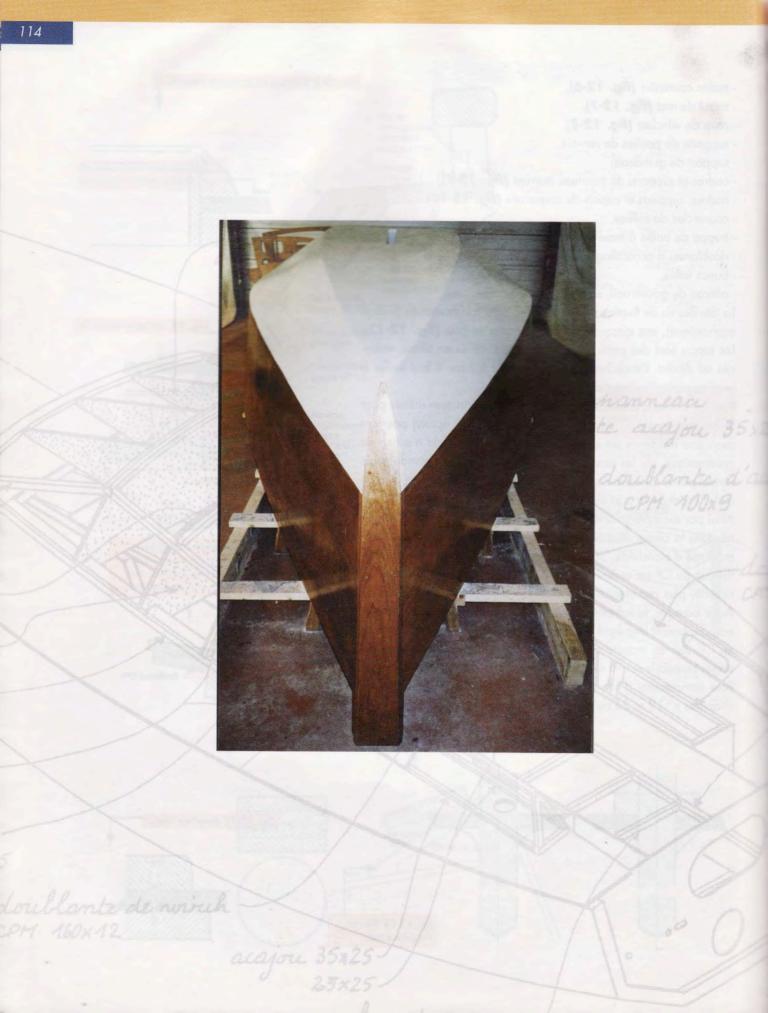


fig. 12.11 Doublantes de chandeliers.

Montage : la doublante en CPM est montée sur un lit de Sikaflex lors du boulonnage de l'embase, elle-même montée sur du mastic souple silicane.

Doublante CPM





# PROTECTION DE SURFACE

## UNE PROTECTION EFFICACE

Pendant longtemps, la construction CP et bois collé en général a souffert d'une mauvaise image de marque liée aux problèmes d'entretien liés à l'emploi de peintures glycérophtaliques. Avant l'avènement du polyester, le contreplaqué, était le matériau le plus adapté à la production en série, et cette mauvaise image a été il faut l'avouer, entretenu par les fabricants de bateaux en plastique. Les problèmes d'osmose rencontrés par les unités contemporaines ont remis les pendules à l'heure, et cela d'autant plus facilement que ce sont les mêmes produits qui sont utilisés pour la protection du bois ou le traitement de l'osmose : l'époxy pour garantir une barrière réellement étanche, la peinture polyuréthanne bi-composant pour rénover un gel coat, ou une peinture défraîchie.

A l'heure actuelle, une unité en contreplaqué protégée par les techniques contemporaines ne nécessite guère plus d'entretien que les autres matériaux.

On peut, en effet, tabler sur une réfection de la peinture extérieure des œuvres vives tous les dix ans, et cela ne concerne que les couches de laque de finition. Au bout de 20 ans, il faut prévoir une réfection plus approfondie avec une remise à nue du bois, ne seraitce que pour s'assurer de son état, pour repartir sur un cycle complet de protection tel que nous allons le décrire.

Bien évidemment ces cycles de réfection seront à moduler suivant plusieurs considérations :

- l'intensité d'utilisation et les "bobos" inévitables qui en résultent,
- l'ensoleillement du bassin de navigation, car les UV sont plus néfastes que l'eau de mer ou les intempéries,
- l'aspect souhaité : au bout de 5 ans d'exposition sous nos latitudes, la peinture en couleur commence à ternir. Ce sera moins sensible pour des couleurs claires, encore moins pour le blanc, qui malgré

### Dernières finitions

A la fois protectrices et esthétiques, la qualité des finitions a une influence considérable sur l'entretien postérieur du bateau.



### Pose des équipements de pont

Tache terminale de la construction, la pose de l'accastillage représente une grande satisfaction pour le constructeur amateur.



tout aura parfois tendance à jaunir. Un lustrage (comme pour une automobile) ou l'application d'un rénovateur de peinture peut constituer un remède transitoire.

Pour en finir avec l'entretien, le propriétaire d'un bateau en bois collé ne doit pas oublier que pour assurer la longévité du matériau, il faut éviter que celui-ci pompe l'humidité. Une formule pratique consiste à toujours avoir à bord un pinceau, un petit bidon de colle polyuréthanne (PU, PPU...), et un flacon d'acétone. Cela permettra d'intervenir ponctuellement sur les accrocs, lors du carénage annuel par exemple, et même si ce n'est pas très joli, cela a au moins le mérite d'être efficace.

On trouve sur le marché bon nombre de fournisseurs spécialisés offrant des produits de très bonne qualité. Ces entreprises, qu'elles soient fabriquant ou distributeur de marques étrangères, fournissent des documents techniques sur leurs produits et leur mise en œuvre très détaillés et dont la consultation est un préliminaire indispensable à ce genre de travaux.

### LE CYCLE DE PEINTURE

Le système de protection actuellement le plus efficace pour la construction en contreplaqué se déroule en trois temps :

- étape n° 1 : primaire d'accrochage époxy (bi-composant). Ce peut être un produit spécifique du fabriquant ou un mélange résine durcisseur d'adhésif époxy utilisé pour les collages. L'application se réalise généralement en deux couches à la brosse, au rouleau, ou parfois au pistolet. Cette étape est suivie d'un dépolissage, d'un ponçage et d'un dépoussiérage.
- Etape n° 2 : sous couche garnissante, soit polyuréthanne bicomposant, soit époxy bi-composant. L'application se fait généralement en deux couches à la brosse, au rouleau, ou mieux, au pistolet (dilution en conséquence). Cette étape est suivie d'un dépolissage (ponçage léger) et d'un dépoussiérage. Cette étape est parfois précédée par une enduction totale ou partielle à base d'époxy chargé. Ce masticage est nécessaire aux éléments stratifiés. On parle de "rattrapage d'enduit". Cette enduction, souvent pratiquée en plusieurs passes, sera suivie d'un ponçage et d'un dépoussiérage.
- Etape n° 3 : laque brillante de finition polyuréthanne bi-composant. Ces peintures sont indispensables en finitions, car moins sensibles que les peintures époxydes aux ultraviolets. L'application se fait généralement en 2 couches à la brosse, au rouleau, ou mieux au pistolet (dilution en conséquence).

On considère généralement que l'application des deux couches consécutives d'une même étape peut être réalisée sans ponçage intermédiaire si le délai n'excède pas 24 heures. La dilution devra être modulée suivant le mode d'application retenu (brosse rouleau ou pistolet).

La protection des œuvres vives (carène immergée) sera complétée par deux couches consécutives d'antifouling, dont l'application sera impérativement précédée d'un dépolissage soigné suivi d'un dépoussiérage des surfaces à traiter.

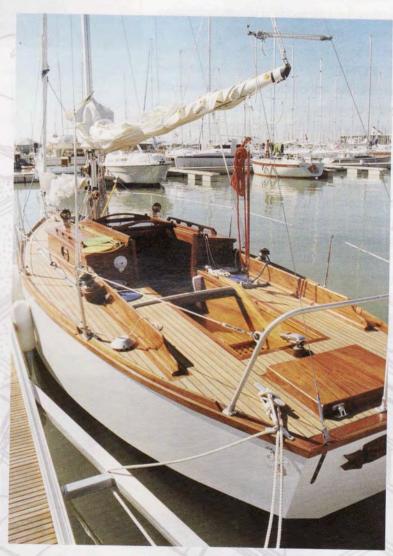
A l'intérieur, le cycle de peinture peut être grandement simplifié. On peut prévoir par exemple, après imprégnation à l'époxy, l'application de peinture polyuréthanne satinée mono-composant. Dans le cas de congés de liaisons stratifiés, un rattrapage d'enduit sera cependant nécessaire.

# ANTIDÉRAPANT DE PONT

L'antidérapant de pont sera réalisé soit à partir de revêtements collés, soit à l'aide de peinture antidérapante. Il existe des mélanges prêts à l'emploi chez certains fabricants. Il est également possible de réaliser l'antidérapant par saupoudrage sur une couche de laque fraîche (passée à la brosse ou au rouleau) peu diluée, de la perline de verre calibrée, dont l'excédent sera brossé 24 heures après, avant de passer une nouvelle couche de peinture à la brosse ou au rouleau, diluée cette fois comme pour une application au pistolet. La peinture antidérapante vient en complément du cycle de peinture exposé précédemment : le pont est la partie du bateau la plus exposée, tant aux UV, aux intempéries qu'à l'abrasion de surface.

Notez pour finir que la pose des équipements extérieurs sur mastic silicone ne sera réalisée qu'après réalisation de l'intégralité des peintures car le solvant de ce type de produit, en se redéposant sur les surfaces, compromettrait la tenue des peintures.





hammeau te augmi 35 xi doublante d'ac

blance de noimh

acajou 35×25-

Quelle que soit la technique de construction retenue, l'amateur qui décide de fabriquer son profitera des multiples qualités de ce matériau et same une langue liste de prédécesseurs qui ont choisi ce matériau.

Nous retiendrons, en company les points les plus marquants qui font que le CP est encore à l'auce du deuxième millénaire largement présent dans la construction noue de plaisance. La réalisation ressente de prototypes de come en compaqué époxy est là pour le prouvés. Le CP nous offie à la la excellentes propriétés mécaniques par rapport à son pare - en raison de sa composition multiplis croisé –, une bonne isolata membre et phonique, une stabilité importante dans le temps protection aux nouvelles protections époxydes, des techniques de mue en œuvre variées et accessibles au plus grand nombre de communeurs amateurs, un aspect d'autant plus chaleureux qu'il es res societ décoration et qu'il est donc facile de l'associe de l'associe de enfin, il est économique puisque vendu sous forme de para standardisés. Surtout, le contreplaqué saura par le constructeur ama-

teur, car le bois, matériau noble est à la la la la satisfaisant et le plus agréable à travailler. A la satisfaction de soir son ouvrage terminé, s'ajouteront le plaisir et la fiere de manque sur un bel objet. réalisé dans un matériau à l'interface et modernité,

## Remerciements

Pour leurs aides, leurs conseils, leurs emples tous tenons à remercier:

Sysba Marine et M. Franck Grangier Naval Force 3 et M. Samuel Boudon M. François Lucas, architecte naval

# Crédit photographique

Samuel Boudon, Pierre-Marie Bourg Legrand, Jean-Pierre Villenave.

Diffusion : France/Etranger. Presse par NMPP Dépôt 🚌 -Photogravure PDG Cenon • Impression Imprimere Les documents, plans d'architectes, illustrations et rédactionnels sont que part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l' Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que a

mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une l'ective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction de l'article 40).

© 1999, Editions Loisirs Nautiques

Directeur de la publication : Gildos de Gouvello • Management



re de presse n° 50143 ISSN 0047 5 017