

DES HYDROFOILS A LA PORTEE DE TOUS

Claude TISSERAND



Vélicane IV sous voile rigide

Juillet 2005

PREAMBULE

Lorsqu'une première version de ce petit opuscule a été rédigée (mais non publiée) en 1977, je terminais une longue et intense période d'expérimentation sur les voiliers à hydrofoils commencée en 1965... qui finit par avorter, faute de moyens, courant 1978.

A l'époque, il faut bien reconnaître que cette technique n'intéressait presque personne en France, si ce n'est Didier Costes avec sa formule « B.Smith »(voir plus loin)...et E. Tabarly avec une « copie » (volontaire ou non, comment le saurais-je ?) de mon Véliplane IV qu'il sortit en 1977. A cette époque, je ne tardais pas à me rendre compte que je ne ferai jamais « le poids » face à un « poids lourd » comme lui, et je préférais « raccrocher les gants »(pour rester dans le registre du « noble art » !).

C'est donc après une longue interruption (de 27 ans quand même !) que je reprends la rédaction de cet opuscule, et bien des choses ont changé depuis, mais pas tant que cela, finalement. Par contre, ce qui est sûr c'est que les premiers succès de l'Hydroptère d'Alain Thébault (qui comme chacun sait succéda à Tabarly), à l'issue d'une longue épopée qui dure donc depuis 1977, sont en train de « réveiller » l'intérêt des masses et des médias, qui semblent découvrir la formule avec béatitude comme s'il s'agissait d'une invention récente !

Mais pendant toute cette période une petite poignée de fanatiques, en France et ailleurs, a fait subsister (et progresser) la formule, dans une voie nouvelle que je m'efforcerai de décrire en détail, tandis qu'A. Thébault persistait dans une technique complètement dépassée (la mienne !), mais avec des moyens énormes...

Les voiliers à hydrofoils dans leur contexte :

Les engins à voile qui dépassent les 100 km/h existent depuis longtemps et sont même relativement répandus: il s'agit d'abord des chars à voile (record du monde de vitesse : Tadeg Normand : 151,9 km/h), notamment sur les belles plages du nord de la France et de Belgique; et il ne faut pas oublier d'autre part les voiliers à glace, très nombreux dans les pays nordiques, qui dépassent vraisemblablement cette vitesse, par suite du très faible freinage occasionné par les patins à glace.

De tels engins vont parfois 2 fois ou 3 fois plus vite que le vent qui les pousse. Ceci démontre amplement que la vitesse limite d'un engin à voile est très élevée : elle dépend en fait principalement des forces résistantes et de leur croissance en fonction de la vitesse.

Pour un bateau, hélas, ces forces résistantes sont considérables et leur croissance est extrêmement rapide, pour des raisons qui seront développées plus loin. C'est pourquoi, il n'y a aucun espoir, avec un voilier classique, d'atteindre des vitesses aussi considérables.

Mais qu'est-ce qu'un voilier classique ?

"Un corps flottant propulsé par la force du vent s'exerçant sur une toile convenablement disposée appelée voile".

Cette définition convient parfaitement à tous les voiliers, des origines à nos jours. Tous, sauf quelques-uns, apparus discrètement dans la 2^{ème} moitié du 20^{ème} siècle et qui font l'objet du présent ouvrage...

Le bateau à voile est sans aucun doute le plus vieux moyen de locomotion "mécanique" inventé par l'Homme. Son histoire est intimement liée à celle de l'Humanité.

Comme celle de l'Humanité, l'évolution du voilier est extrêmement lente dans les temps les plus anciens, et tend à s'accélérer très fortement depuis une époque relativement récente. Mais paradoxalement, ce "démarrage" de l'évolution, que l'on peut rattacher au 18^{ème} ou au 19^{ème} siècle pour l'Humanité et la Science en général, prend un retard d'un bon siècle en ce qui concerne l'évolution du voilier. En effet, les voiliers des 16^{ème}, 17^{ème}, 18^{ème} et même 19^{ème} siècle conservaient entre eux une similitude frappante, aussi bien sur le plan de la coque (quilles longues, coques lestées, etc...), que sur celui de la voilure (voiles carrées multiples, gréements compliqués à l'infini, etc...).

C'est seulement avec le début du 20^{ème} siècle que l'on voit se dessiner, timidement il est vrai, quelques lignes d'évolution importantes et résolument nouvelles :

- pour les coques, apparition de la quille étroite, de la "dérive", des coques légères et planantes (en un mot du "dériveur"),
- pour les voilures, les "étendages de linge" sont progressivement remplacés par des voiles plus simples, adaptées aux allures de "prés" et non plus de "largue" : cette évolution aboutira bientôt au gréement de sloop Marconi, qui représente actuellement, sans conteste possible, la meilleure solution "classique" du problème de la voilure; c'est aussi et de très loin, la solution la plus répandue.

Qu'en est-il de cette évolution, sur le plan des vitesses ?

Les voiliers anciens, étaient généralement très lents: ils ne dépassaient guère 8 à 10 nœuds, dans des conditions normales d'utilisation (sans parler des vitesses atteintes dans des conditions catastrophiques, en dévalant une grosse lame déferlante par exemple !). Cette vitesse de pointe des voiliers anciens a pourtant été progressivement améliorée, surtout au 19^{ème} siècle, à la faveur d'une forte augmentation de la taille et uniquement pour les allures portantes. Le plus rapide des grands "clippers" du 19^{ème}, le James BAINES (une centaine de mètres de long) aurait atteint 21 nœuds, probablement un jour de tempête. Cette vitesse constitue un véritable record absolu pour ce type de voiliers. Il ne sera jamais battu durant la 1^{ère} moitié du 20^{ème} siècle, en dépit des progrès importants énoncés plus haut, par suite de la disparition de ces grands voiliers; les meilleurs voiliers de cette époque devront se contenter de 13,5 nœuds (YANKEE, voilier de classe J de la coupe AMERICA - 35 m de long).

Il faudra attendre le début de la 2^{ème} moitié du 20^{ème} siècle pour voir tomber ce record, avec le développement d'une nouvelle génération de voiliers: les multicoques (catamarans, trimarans et praos). Ces engins constituent déjà, sur le plan des performances, un progrès considérable puisque les plus grands modèles dépassent largement les 30 nœuds.

Pourtant, ces voiliers rentrent toujours dans le cadre de la définition énoncée au début de ce chapitre : on peut estimer qu'ils constituent l'aboutissement de la très longue série évolutive des "voiliers classiques" qui aurait atteint là un optimum. Il est douteux qu'ils parviennent à aller bien au-delà du record actuel, qui deviendrait ainsi le "record absolu pour les voiliers classiques".

Mais c'est aussi vers le début de cette 2^{ème} moitié du 20^{ème} siècle que l'on voit apparaître discrètement deux nouveaux types de voiliers qui ne constituent pas une évolution, mais une révolution: en effet, ces voiliers ne rentrent plus dans la définition du voilier classique; il s'agit des voiliers à ailes marines ou hydrofoils d'une part, des voiliers à voiles rigides d'autre part (ces 2 directions évolutives se sont en général développées séparément, mais tendent inexorablement à se rejoindre).

Ces deux formules doivent tout à l'aviation qui constitue leur véritable "mère nourricière" car leur technologie n'a plus grand chose à voir avec la navigation classique.

Qu'est-ce qu'un voilier à ailes marines ?(ou « hydrofoils », puisqu'il faut une fois de plus se plier à l'anglicisme !). Certainement plus un "corps flottant" mais un engin sustenté uniquement par la portance de ses ailes se déplaçant dans l'eau à une vitesse suffisante.

Le voilier à ailes marines est au bateau classique ce que l'Avion est au Dirigeable.

Qu'est-ce qu'une voile rigide? Certainement pas "une toile convenablement disposée" mais un système aérodynamique moderne, à haut rendement, qui n'est autre qu'une aile d'avion disposée verticalement.

Le présent ouvrage est presque exclusivement consacré aux voiliers à ailes marines. Il sera pourtant traité des voiles rigides en fin d'ouvrage, car il est impossible de dissocier totalement une "cellule" moderne de son "moteur" moderne.



ENSTA: une des meilleures associations « hydrofoils-ailes rigides », mais ne naviguant que tribord amure

CHAPITRE 1

HISTOIRE DES BATEAUX A AILES MARINES

Les bateaux à moteur :

Cette histoire est déjà très ancienne, mais combien peu connue Il semblerait que le premier bateau à ailes marines soit celui du Comte de LAMBERT qui aurait fonctionné en 1897.

L'année suivante, l'italien FORLANINI faisait décoller un énorme bateau à ailes marines qui, d'après une photo de l'époque, devait mesurer au moins 20 mètres de long. On ne dispose d'aucun renseignement sur les moteurs de ces 2 premiers bateaux, qui étaient sans doute à vapeur.

Par la suite, on voit apparaître de nombreux prototypes de bateaux à ailes marines parmi lesquels on peut citer celui du Dr Alexander GRAHAM BELL qui aurait atteint 60 nœuds dès 1918 ! (équipé de moteurs d'avion).



Photo C. TISSERAND

Ce n'est qu'après la seconde guerre mondiale que l'on voit apparaître les vedettes à ailes marines maintenant classiques, type "Aliscafo" que l'on voit naviguer en grande quantité de nos jours entre les Iles Italiennes, sur les lacs Italiens et Russes.

Ces vedettes transportent 50 à 100 passagers, naviguent

aisément à une quarantaine de nœuds, et cela même par mer agitée. Elles constituent une solution rationnelle, sûre, rapide et peu coûteuse par rapport aux engins à coussin d'air qui, en dépit d'une manne gouvernementale inépuisable, sont en voie de disparition.

Un engin russe remarquable



Les bateaux à voiles:



Le véritable ancêtre des voiliers à hydrofoils (Baker 1950) extrait de Hydrofoil Sailing

Si on excepte quelques tentatives sans doute peu fructueuses, il semble à peu près incontestable que le véritable "inventeur" du voilier à ailes marines est l'Américain BAKER qui, en 1950, expérimentait avec succès son premier modèle, un tout petit monocoque pourvu d'une longue poutre transversale, supportant des ailes marines. Cet engin, remarquable de simplicité, aurait atteint 20 nœuds dès cette époque. C'est alors que se produisit un phénomène tout à fait extraordinaire, presque inconcevable en France: les professionnels de la Marine Nationale Américaine (U.S. NAVY) s'intéressèrent aux travaux de cet amateur et réalisèrent en collaboration avec lui un nouvel engin, le MONITOR, qui atteignit en 1956 la vitesse fantastique de 30,4 nœuds.

navigant silencieusement à grande vitesse, pouvait à la rigueur être considéré

comme une arme...! Sans doute cette arme fut-elle vite reconnue comme très aléatoire, car ce merveilleux prototype, qui avait coûté plusieurs centaines de milliers de dollars, fut rapidement abandonné et on n'entendit pratiquement plus parler de lui.



MONITOR

Qu'était au juste le MONITOR ? Essentiellement un monocoque de 7 m de long, pourvu d'une grande poutre transversale tubulaire portant des ailes marines "en persiennes". L'arrière était supporté également par des ailes marines "en persiennes" servant en même temps de gouvernail (cette disposition, dite "configuration Avion", sera examinée en détail dans les chapitres techniques). Cet ensemble, déjà fortement autostable par nature (voir chapitre III), était complété par un système assez évolué de compensation automatique basé sur la traction des haubans qui

donnait à l'engin l'assiette parfaitement horizontale que l'on peut admirer sur la photo ci-dessus.

Mis à part son prix, cet engin paraissait très réussi. Sans doute avait-il quelques difficultés à décoller et sa stabilité à basse vitesse devait réserver des surprises! Ceci n'explique en rien son abandon total et le peu de retentissement qu'ont eu dans le monde ces expériences. Il est possible que les origines para-militaires de l'engin aient découragé les amateurs de prendre le relais.

Pourtant la formule était "dans l'air" puisque les années Soixante virent apparaître en divers points du monde, souvent sans qu'il y ait aucune relation entre les créateurs, un certain nombre de voiliers à ailes marines: on ne citera ici que les expériences ayant eu au moins un commencement de succès. Bien d'autres expériences furent sans doute tentées, mais leur insuccès les maintinrent dans l'anonymat.

LA PERIODE 1960 - 1970 :



Les travaux de Donald J. NIGG (U.S.A.)

A l'inverse de BAKER qui obtint le soutien de l'US NAVY, D.J. NIGG est le symbole même de l'amateur, concevant et construisant ses engins avec ses seuls moyens personnels: ces engins étaient même d'une simplicité déconcertante et leurs performances pourtant extraordinaires.

Les premiers engins de NIGG virent le jour en 1963. Ils étaient constitués par 3 petits flotteurs reliés entre eux par une structure en T, la barre du T étant placée à l'arrière. Sous ces trois flotteurs, étaient fixées des ailes marines: 2 à l'arrière, 1 à l'avant. (C'est la configuration "canard" sur laquelle on reviendra en détail dans les chapitres techniques).

Ces engins (car il y en eut en fait plusieurs), longs de 5 m environ, larges de 4 à 5 m, ont démontré rapidement leurs possibilités de vitesse considérables (15 à 20 nœuds dès 1964), ainsi que leur remarquable stabilité. Le dernier modèle, Flying Fish, réalisé en 1968, aurait atteint des vitesses proches de 30 nœuds, soit pratiquement autant que le MONITOR, avec une structure à la portée d'un amateur, dépourvue de tous dispositifs subtils, de réglages ou de compensation automatique.



Les travaux de P. HANSFORD et J. GROGONO (Gde Bretagne) :

Avec ces 2 chercheurs Anglais, on voit apparaître en 1967-1968, une série de recherches particulièrement réussies, consistant en l'adaptation d'ailes marines à des coques de catamaran. Il s'agit là d'un très bel et très rare exemple de collaboration entre 2 chercheurs : leurs travaux, sur des bateaux différents, ont

été rigoureusement parallèles et menés en parfait accord.

J. GROGONO s'est attaché à adapter des foils sur un catamaran "de série" le Tornado (6,10 m de long, dénommé ICARUS). Ses premiers essais, fortement influencés par les idées de NIGG, étaient axés sur une configuration "canard" c'est-à-dire où les foils arrière sont plus importants que les foils avant, et où la direction est assurée par l'ensemble avant.

Cette direction de recherche, poursuivie jusqu'en 1971, a probablement posé bien des problèmes pratiques de repliage des foils puisque, dès 1972, on retrouve ICARUS pourvu de foils à configuration "avion", identiques à ceux de MAYFLY, le catamaran de P. HANSFORD : cette disposition comporte 2 foils avant prédominants et 1 foil arrière ou empennage, beaucoup plus petit, solidaire du gouvernail, le total repliable par rotation.



C'est avec cette nouvelle disposition qu'ICARUS a pu obtenir, en 1972 et 1973, deux magnifiques secondes places au championnat du Monde de vitesse (21,6 nœuds en 1972 - 20 nœuds en 1973).

De son côté, P. HANSFORD avait, dès 1968, réalisé entièrement un petit catamaran de 4,50 m de long, MAYFLY, équipé d'ailes marines à configuration "avion". Il semble avoir rapidement trouvé une solution très

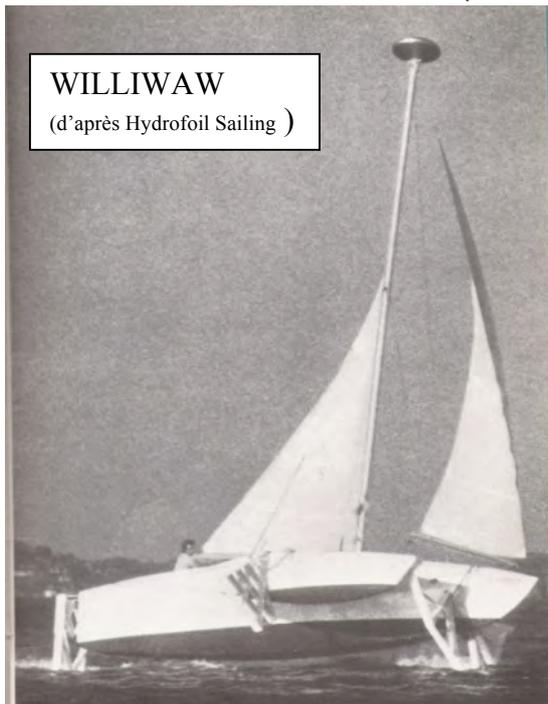
heureuse et les modifications qu'il devait effectuer par la suite ne devaient plus porter que sur des détails : les plus importantes ont consisté à remplacer les deux empennages arrière, fixés sur les 2 coques, par un empennage unique, fixé au centre entre les coques, et à simplifier la forme de celui-ci.

MAYFLY remplaça ICARUS au championnat du Monde de vitesse en 1974 (3ème avec 19,4 nœuds) et en 1975 (2ème avec la même vitesse). En 1976, MAYFLY a battu ICARUS avec 21,1 nœuds contre 20,7.

Il est intéressant de noter que ces 2 catamarans, très différents par leur taille, mais identiques quant à leurs ailes marines, ont réalisé des performances extrêmement proches. Ceci montre combien, avec cette formule, la taille n'est pas un élément dominant dans les résultats obtenus.



Les travaux de D. KEIPER (U.S.A.)



WILLIWAW

(d'après Hydrofoil Sailing)

D. KEIFER est le réalisateur du plus grand voilier à ailes marines (dénommé WILLIWAW) ayant existé jusqu'à présent : il s'agit d'un trimaran de 9,3 m de long, habitable, qui réussit la traversée du pacifique, de Californie à Hawaï, sans aucun problème particulier.

Son système d'ailes marines est extrêmement complexe, partiellement inspiré du Monitor.

En dépit de sa taille, ce bateau décolle effectivement et aurait atteint une vingtaine de nœuds . Cependant, ses ailes marines sont utilisées très souvent seulement à titre de stabilisateur, en ne gardant immergée que l'aile sous le vent et en relevant l'autre.

Les travaux de l'auteur: (France)

C'est également pendant cette décennie, plus précisément en 1964-1966, que je commençais mes premières recherches sur les voiliers à ailes marines, qui se sont traduites par les essais du Véliplane I en été 1966.



VELIPLANE 1 (1966) à noter
l'utilisation quasi « familiale » de
l'engin

C'était un trimaran de 4,50 m de long, 4 m de large, équipé d'ailes marines à configuration "avion". Cet engin a fonctionné très honorablement, dès ses premiers essais, et les vitesses atteintes, de l'ordre de 15 nœuds, démontraient déjà largement les possibilités de la formule. Ces essais furent relatés dans

la revue "Nautisme" de Novembre 1966, dans l'espoir de susciter un certain intérêt pour la formule, alors rigoureusement inconnue en France ... espoir totalement déçu, pour longtemps encore. Je reviendrai plus longuement, au chapitre IV, sur l'histoire de l'évolution du Véliplane, des origines à nos jours : une histoire qui paraîtra

infiniment plus laborieuse, plus hésitante que celles de mes confrères anglo-saxons, que je viens de transcrire en m'inspirant directement de l'ouvrage de J. GROGONO, D.J. NIGG et A. ALEXANDER "Hydrofoil Sailing". C'est sans doute parce que je connais infiniment mieux mes difficultés que les leurs!

LA PERIODE 1970 - 1976 :

On pourrait penser qu'à l'issue des succès incontestables obtenus pendant les deux décennies précédentes, les voiliers à ailes marines commençaient à connaître un réel développement et que les chercheurs auraient réussi à créer de véritables "écoles" au moins dans leur pays.

En fait, il n'en est rien: les imitateurs de NIGG aux U.S.A. sont restés très peu nombreux et ne semblent pas avoir rencontré de grands succès.

Les disciples d' HANSFORD et GROGONO en Gde BRETAGNE se comptaient sur les doigts de la main, sans réussir à se hisser à la hauteur de leurs "maîtres".

En France, l'auteur de ces lignes est resté quasiment le seul adepte de la formule jusqu'en août 1976, date de la sortie de la maquette du PEN DUICK VII, qui peut être considéré comme le descendant direct de la lignée des Véliplanes et qui est très semblable au Véliplane IV sorti exactement en même temps.

Pourtant, depuis 1972 existe un élément essentiel de propagande pour ces engins: il s'agit du championnat du Monde de Vitesse à la Voile (assorti du "Record du monde") organisé par John PLAYER (cigarettes), tant en Angleterre qu'aux U.S.A.

Mais paradoxalement, cette épreuve de vitesse pure, chronométrée sur une base de 500 m, n'a pas été dominée à cette époque par les voiliers à ailes marines, mais par 2 grands multicoques : en 1972, 73, 75 et 76 par CROSSBOW, prao de 20 m de long ne pouvant naviguer que sur un seul bord (chronométré à 31,9 nœuds en 1976) et, en 1974, par BRITISH OXYGEN, catamaran de 25 m de long, coulé dans la Transat 1976 sous le nom de KRITER III. De tels bateaux se sont imposés du fait de leur taille et de leur technologie très évoluée, mais surtout par suite d'un règlement de course qui permettait à CROSSBOW, bateau infirme et véritable "Dahu des mers" puisqu'il ne pouvait naviguer que sur un seul bord, d'y participer (à noter que cette anomalie se perpétue avec ENSTA !).

Si on excepte ces premières places qui peuvent paraître assez peu justifiées, les secondes places ont toujours été détenues par des voiliers à ailes marines beaucoup plus petits, à l'exception de 1974 où cette seconde place est revenue à CLIFTON FLASHER, autre prao ne naviguant que sur un seul bord et pourvu de voiles rigides.

En 1972 : second : ICARUS à 21 nœuds
1973 : second : ICARUS à 20 nœuds
1974 : troisième : MAYFLY à 19 nœuds
1975 : second : MAYFLY à 19,1 nœuds
1976 : second : MAYFLY à 21,1 nœuds

on notera cependant l'absence de réels progrès durant ces 5 années !

On notera aussi que les vitesses obtenues par les voiliers à ailes marines dans cette course sont nettement moins élevées que celles annoncées précédemment: c'est qu'il s'agit là de vitesses moyennes sur 500 m, donc beaucoup plus difficiles à obtenir qu'une vitesse de pointe enregistrée quelques instants sur un speedomètre. Par ailleurs, les conditions de la course ne sont pas toujours les conditions optimales pour ce type de bateau.

On constatera enfin que, parmi les voiliers à ailes marines ayant participé honorablement à cette course, on retrouve essentiellement les "vétérans" des années soixante qui persévèrent encore: ICARUS, MAYFLY et, moins brillamment, Véliplane III (15,9 noeuds en 1975 - le Véliplane IV, trop jeune, ne participait pas en 1976).

DE 1976 A NOS JOURS :

Durant cette période ont voit apparaître une nouvelle catégorie de voiliers à hydrofoils, bien plus évoluée : les voiliers à ailes entièrement immergées....

Ces engins peuvent se rattacher à deux grandes familles :

- **les engins à palpeurs poussés**, système Hook ou Ketterman, du nom de Greg Ketterman qui créa le célèbre LONGSHOT qui détint un temps le record de vitesse à 37 noeuds en 1990 et qui donna lieu à une exploitation commerciale sous le nom de TRIFOILER (fabrication Hobie cat). Comme on peut le voir sur la photo ci-contre, l'incidence des foils avant est commandée par un palpeur en forme de patin glissant à la surface de l'eau et directement relié aux flotteurs latéraux portant des foils en T ou en L ; ainsi, lorsque l'engin est enfoncé, le palpeur tend à cabrer et augmente l'incidence du foil, et inversement.



- **les engins à palpeurs tirés**, type « Bradfield », du nom de leur créateur, Sam Bradfield, qui au cours de sa longue carrière engendra un grand nombre d'engins dont le niveau d'immersion des foils est commandé par un palpeur constitué d'une simple baguette courbée, trainant vers l'arrière et nettement moins influencée par l'état de surface que le palpeur poussé. C'est notamment la technologie du Moth à foils, du Scat et de bien d'autres.



Ce rapide historique des voiliers à ailes marines ne peut manquer d'attirer l'attention, hélas, sur les réelles difficultés inhérentes à la formule qui expliquent la diffusion très restreinte de ces recherches et le petit nombre de chercheurs qui y restent accrochés. On trouvera pourtant dans les chapitres techniques du présent ouvrage le moyen de surmonter une grande partie de ces difficultés.

Il est en effet permis d'affirmer à ce jour, en 2005, que la grande majorité des défauts de jeunesse de la formule est maintenant dominée et que les grands espoirs nés dans les années soixante sont maintenant sur le point de se concrétiser. Il suffit pour s'en convaincre de remarquer l'intérêt subit des professionnels pour la formule, après avoir laissé le champ libre aux amateurs pendant 20 ans !

CHAPITRE II

HYDRODYNAMIQUE

1.- HYDRODYNAMIQUE DES BATEAUX CLASSIQUES -

Un bateau classique ou "corps flottant" est maintenu à la surface de l'eau par la très fameuse "poussée d'Archimède" qui, comme chacun sait, est égale au poids de l'eau déplacée. Tant que le corps flottant est immobile, il n'y a pas de problèmes. Par contre, dès que ce corps flottant (ou coque) se déplace, l'eau s'oppose à ce déplacement en exerçant une résistance qui, faible d'abord, s'accroît très rapidement avec la vitesse.

Quelles sont les causes de cette résistance ?

1°- Des forces de frottement qui sont dues à l'adhérence (ou viscosité) de l'eau sur la surface mouillée de la coque. Ces forces sont évidemment proportionnelles à cette surface mouillée et varient en outre, mais de façon assez mal connue, en fonction de la vitesse et de l'état de cette surface: en effet, on considère généralement que les forces de frottement de l'eau sur une surface diminuent lorsque celle-ci est plus lisse (tous les marins savent bien qu'une coque couverte d'herbe ou de coquillages n'avance plus !).

Dans ce cas, l'écoulement des filets d'eau au contact de la surface, ou "couche limite", est parfaitement régulier (on dit que la couche limite est laminaire).

Cependant, il existe des théories plus modernes qui font état de cas où la résistance de frottement diminue lorsque cette couche limite n'est plus laminaire, mais turbulente, c'est-à-dire que les filets d'eau au contact de la coque sont tourbillonnants. Il serait dans ce cas souhaitable de disposer en certains endroits de la coque des aspérités destinées à provoquer cette turbulence.

Il existe même des théories, encore moins vérifiées, qui sont axées sur l'observation de certains animaux marins (dauphins surtout) et selon lesquelles la peau de ces animaux serait constituée de façon à supprimer (ou à diminuer fortement) les forces de frottement dans l'eau. Les auteurs de ces théories se gardent bien, naturellement, d'avancer la moindre explication de ce phénomène qu'ils appellent "fait d'observation" !

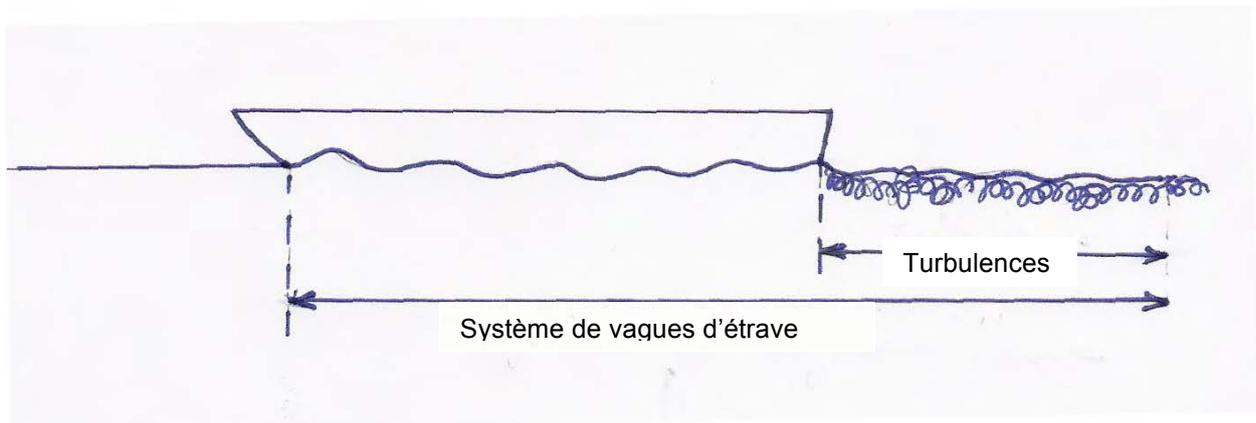
En bref, ces phénomènes sont très complexes et finalement mal connus. Ils sont de toutes façons relativement secondaires, dans le cas des grandes vitesses qui nous intéressent ici.

2°- La 2ème cause de résistance à l'avancement, qui devient rapidement beaucoup plus importante que la précédente, est constituée par tous les phénomènes liés au sillage du bateau.

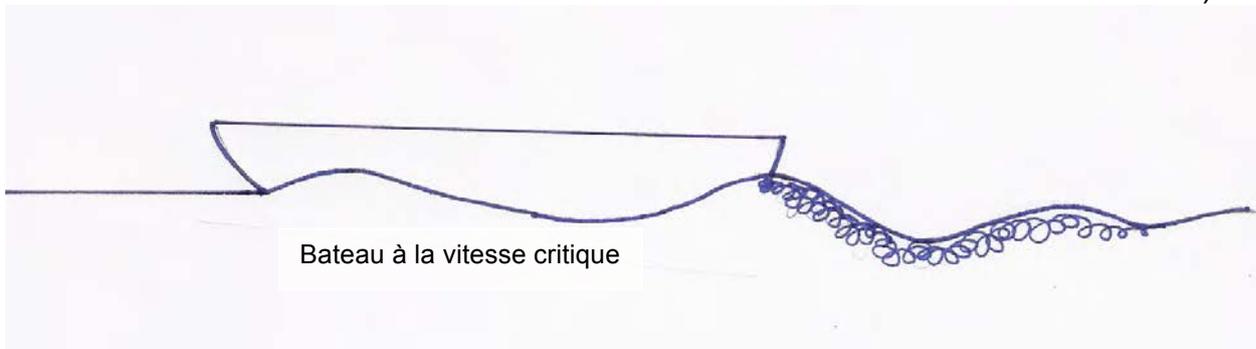
Le sillage d'un bateau comprend en fait deux parties:

- Un système de vagues partant de l'étrave, qui est un phénomène d'onde provoqué par le "choc" de l'avant du bateau. Cette onde est tout à fait comparable à l'onde de choc produite par un avion volant au-delà de la vitesse du son.
- Un système de vagues d'arrière, qui est avant tout un phénomène de turbulence (ou tourbillon) provoqué par la trop brusque "fermeture" de l'eau après le passage du bateau.

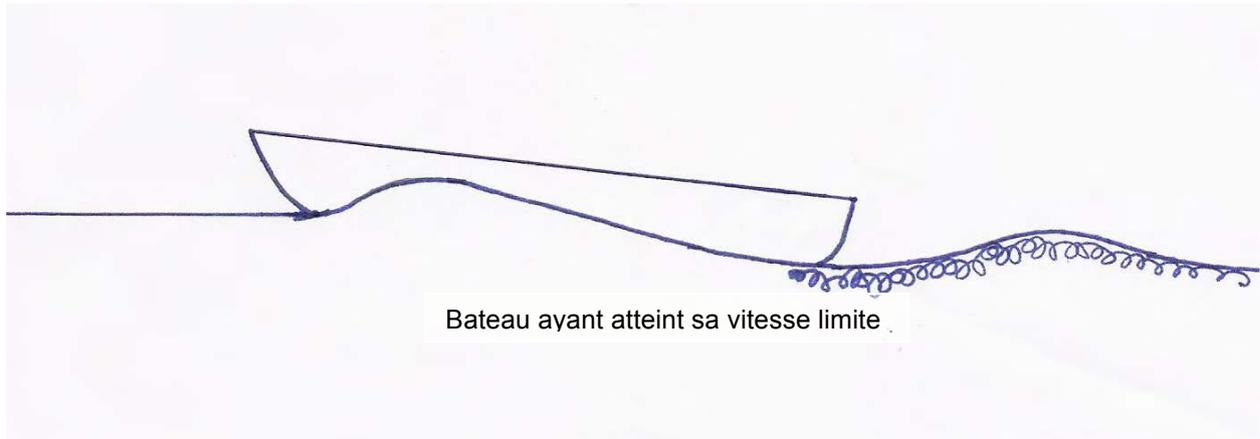
Le système de vagues d'étrave, comme tout phénomène d'onde, est une succession de vagues dont l'espacement (longueur d'onde) et l'amplitude sont fonction de la vitesse du bateau. A basse vitesse, cet espacement est faible et il existe tout le long du bateau un nombre de vagues plus ou moins important et d'amplitude décroissante. La résistance due à ces vagues est alors peu importante. Les autres forces résistantes (forces de frottement, turbulence arrière) restent prédominantes.



Par contre, lorsque la vitesse du bateau augmente, l'espacement entre les vagues s'accroît, ainsi que leur amplitude. A partir d'une certaine vitesse, cet espacement atteint la longueur du bateau: il n'y a plus alors que la vague d'étrave, suivie par une 2ème vague se situant à l'arrière du bateau (les autres étant derrière le bateau).



On atteint alors la vitesse critique: en effet, si la vitesse augmente encore, la 2ème vague va se détacher de l'arrière du bateau, qui va prendre la position cabrée d'un bateau grimpant sur une vague (alors qu'il était resté horizontal jusque là). Il est donc dans la position d'un bateau condamné à gravir éternellement une forte pente.



La résistance à l'avancement s'accroît alors très brusquement à tel point qu'aucun bateau à voile n'est capable de la vaincre. Seuls de puissants bateaux à moteur peuvent dépasser cette vitesse critique (ce qui justifie la préférence de ce terme à celui de "vitesse limite")

A titre indicatif, on se bornera à estimer la vitesse critique d'un bateau par la formule empirique suivante

$$V_c = k \sqrt{L}$$

$k = 2,5$ à 3 suivant la forme du bateau.

L = longueur à la flottaison en mètres.

V_c = vitesse critique en nœuds .

soit pour un bateau de 9 m à la flottaison : $V_c = 7,5$ à 9 nœuds .

On voit d'après cette formule que la vitesse critique ne croît que comme la racine carrée de la longueur et donc qu'une amélioration de cette vitesse ne peut être obtenue qu'au prix d'une forte augmentation de longueur.

Sans vouloir entrer dans le détail de ce phénomène, on comprendra qu'il n'existe pratiquement pas d'autre solution pour atteindre de grandes vitesses sur un petit voilier, que d'abandonner la solution de la coque à déplacement au bénéfice d'un système planant, c'est-à-dire où la sustentation de la coque est assurée par le déplacement de celle-ci.

Le cas le plus courant est celui des bateaux planant à la surface de l'eau:

Ces bateaux sont très répandus puisque la plupart des dériveurs rentrent dans cette catégorie. C'est aussi le cas du ski nautique, de la planche à voile et de tous les bateaux à moteur rapides.

La sustentation de la coque en mouvement est alors due à l'inertie de l'eau qui est chassée latéralement sous la coque, ce qui provoque une pression tendant à la faire sortir de l'eau.

Cette sustentation a un très mauvais rendement qui pourrait se comparer, en aéronautique, au fameux "vol du fer à repasser".

Il s'en suit que le plané d'un voilier ne peut être obtenu ainsi que par vent fort, aux allures portantes et très souvent en s'aidant des vagues pour assurer le "déjaugage". Les vitesses atteintes restent très limitées et très irrégulières: elles ne dépassent guère les 12 à 13 noeuds, pour un bon dériveur moyen. De plus le contact avec une surface souvent très agitée rend ce genre de navigation très pénible.

2. HYDRODYNAMIQUE DES BATEAUX A HYDROFOILS

2.1.- Généralités -

Ces bateaux ne méritent plus vraiment ce nom puisque leur coque n'est plus qu'un accessoire comparable au train d'atterrissage d'un avion ou aux flotteurs d'un hydravion. En effet, ces engins sont sustentés entièrement par la portance hydrodynamique de leurs ailes marines ou hydrofoils, qui se comportent dans l'eau exactement comme les ailes d'un avion dans l'air.

Ces engins ne connaissent évidemment pas la vitesse critique des bateaux à déplacement. De plus, leur surface mouillée, déjà faible dès que la coque est hors de l'eau, se réduit encore progressivement au fur et à mesure que le bateau accélère puisque, dans la plupart des cas, cette accélération se traduit par la sortie d'une portion croissante des ailes marines.

Par ailleurs, ils sont, jusqu'à un certain point, insensibles à l'état de la surface de l'eau car leurs ailes ne prennent pas appui sur la surface, mais sous la surface.

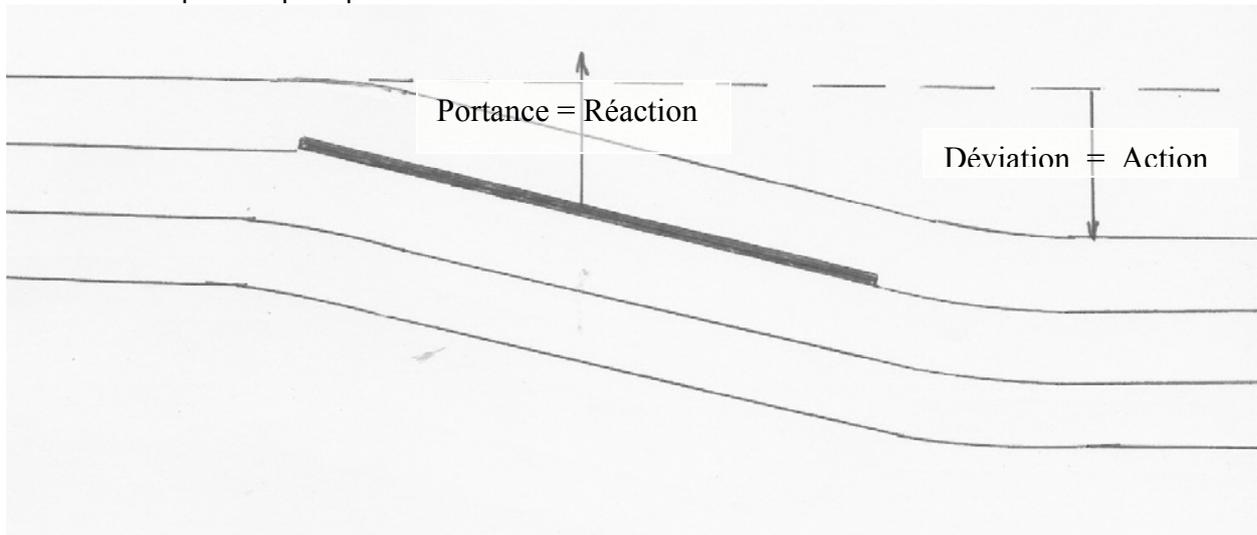
Ils présentent cependant des inconvénients non négligeables tels que :

- de mauvaises performances lorsque le vent est trop faible pour leur permettre de décoller (ceci peut être pallié par l'utilisation d'ailes repliables),
- une structure relativement complexe, de technologie plus aéronautique que marine,
- un tirant d'eau relativement important (ceci peut être pallié par l'utilisation d'ailes repliables),
- des risques graves en cas de choc à grande vitesse avec des corps flottants.

2.2.- Principe de l'aile marine ou hydrofoil:

L'hydrofoil est, comme une aile d'avion, un plan se déplaçant dans un fluide avec une vitesse V et faisant avec la direction du déplacement un angle θ dénommé angle d'incidence. Ce fluide (l'eau) étant différent de l'air, en particulier par sa densité et sa compressibilité, il en résulte des différences qui jouent davantage sur les coefficients que sur la forme même des phénomènes qui restent très comparables .

Fondamentalement, la portance d'une aile est la réaction du déplacement vers le bas d'une masse d'eau par un plan pourvu d'une certaine incidence.



Le schéma ci-dessus permet une fois pour toutes de « tordre le coup » d'une antienne répétée à l'envie dans la plupart des traités de vulgarisation aérodynamique, comme quoi « la portance est due à la courbure de l'aile qui induit un trajet plus grand des molécules sur l'extrados que sur l'intrados d'où une dépression à l'extrados » etc.. etc.. on a tous lu ça bien des fois ! comme si une aile parfaitement plate et sans épaisseur ne portait pas ! (et, par parenthèse, selon ce principe idiot, une voile ne devrait pas porter non plus, puisqu'elle n'a pas d'épaisseur...et que dire des profils symétriques des ailes d'avions !)

Plus classiquement, on considère la "Portance" d'une aile marine comme la Résultante de l'ensemble des pressions et des dépressions qui s'appliquent sur l'aile se déplaçant dans l'eau avec un certain angle d'incidence. Cette "portance", ou plus exactement cette RESULTANTE s'exprime sous la forme:

$$R = K \cdot S \cdot V^2$$

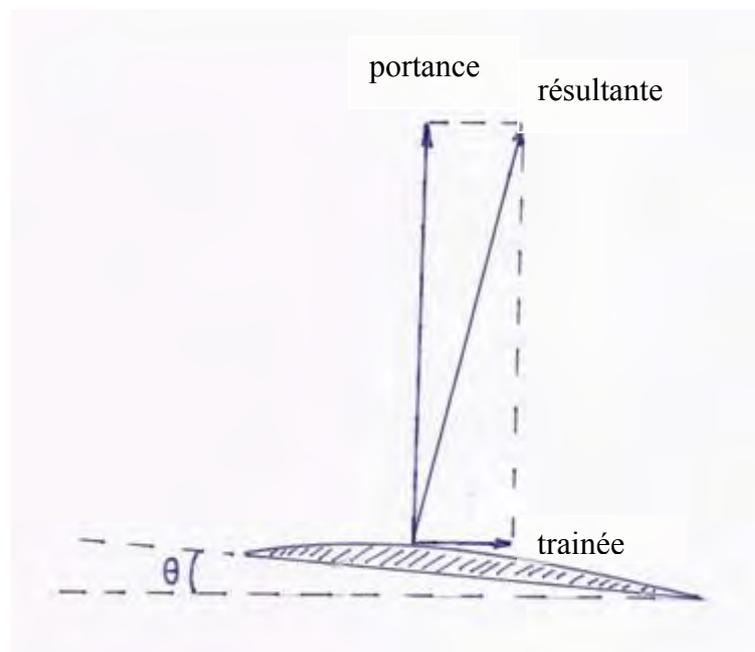
où : K est un coefficient intégrant un grand nombre de paramètres tels que propriétés du fluide, forme de l'aile, angle d'incidence, etc.

S est la surface de l'aile.

V est la vitesse du déplacement.

La PORTANCE proprement dite est la composante perpendiculaire à la direction du déplacement (en pratique, composante verticale)

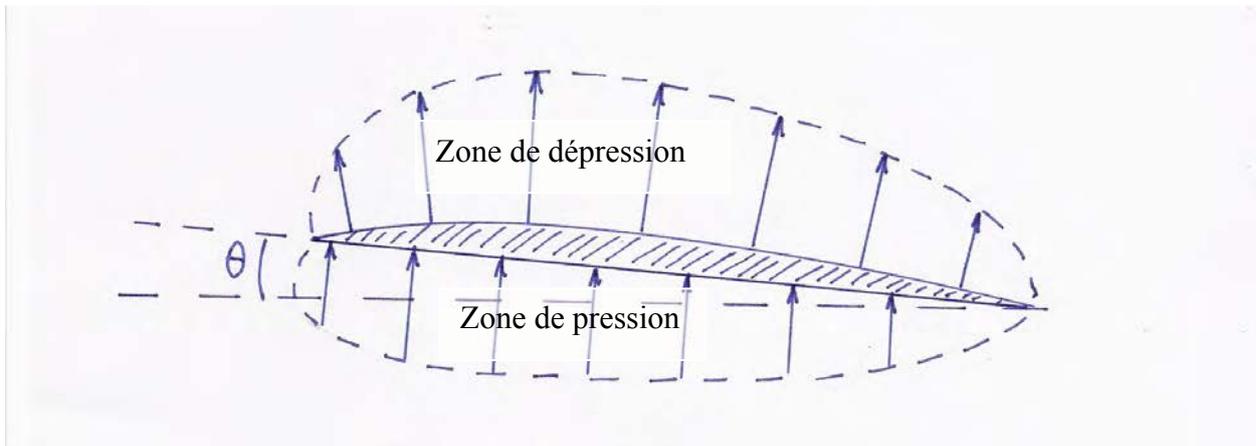
La composante dirigée vers l'arrière est appelée TRAINÉE



2.3.- Répartition des pressions sur l'aile marine :

Il importe de considérer avec beaucoup d'attention la répartition des pressions sur l'aile marine. Celle-ci varie très fortement en fonction de la forme du profil (ou section) choisie.

Ainsi, pour un profil en arc de cercle, la répartition des pressions est sensiblement celle -ci :



On remarque que, à la partie inférieure de l'aile (intrados) la "pression est sensiblement identique en tous points .

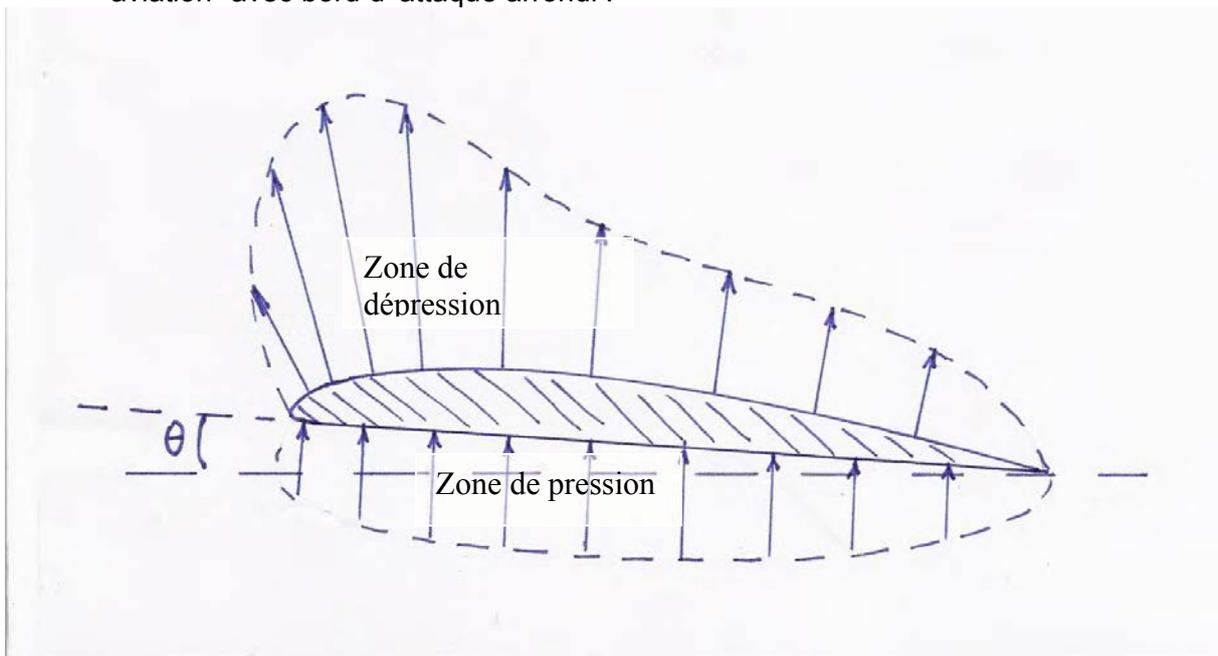
Par contre, à la partie supérieure (extrados) cette pression est de sens opposé : c'est une dépression . En chaque point du profil, cette dépression est évidemment perpendiculaire à la surface (il en est ainsi de toute pression ou dépression, au sein d'un fluide). On remarque aussi que la valeur de cette dépression (exprimée par la longueur des vecteurs) n'est pas uniforme : elle est plus forte à la partie avant de l'aile.

Enfin, on remarque que la somme des dépressions sur l'extrados (surface de la courbe enveloppe) est très supérieure à la somme des pressions sur l'intrados .

De ceci, on retiendra 2 conclusions essentielles :

- la dépression de l'extrados est plus importante que la pression de l'intrados.
- la dépression de l'extrados est plus importante sur la partie antérieure de l'aile.

Examinons maintenant cette répartition des pressions sur un profil type "aviation" avec bord d'attaque arrondi :



On remarque , par comparaison avec le profil précédent :

- que la répartition des pressions à l'intrados n'a pas changé

- que la répartition des pressions à l'extrados est par contre très différente, avec une très forte « pointe » de dépression immédiatement derrière le bord d'attaque.

On comprendra aisément que cette zone mérite une attention toute particulière car c'est d'elle que dépend l'essentiel de la portance de l'aile. Le respect du profil, le fini de la surface, devront donc être particulièrement soignés dans cette zone.

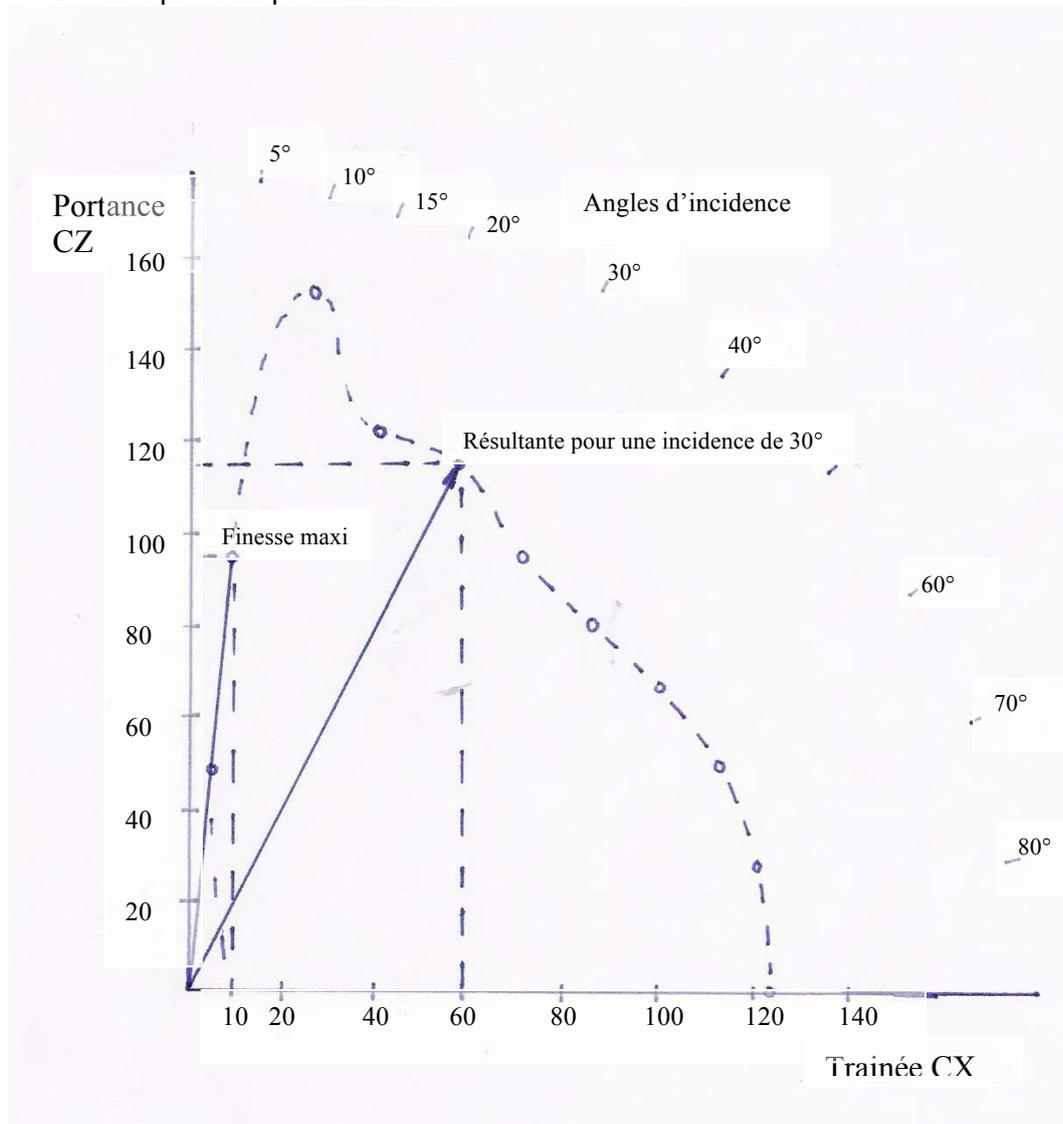
2.4 le rendement de l'aile marine :

Polaire - finesse - Allongement - pertes marginales –

Nous avons vu qu'une aile se déplaçant dans l'eau avec une vitesse V et une incidence θ , engendrait une "portance" appelée plus exactement RESULTANTE, pour réserver le terme de Portance à la composante verticale de cette force.

Examinons maintenant l'évolution de cette Résultante lorsqu'on fait varier l'angle d'incidence:

Pour chaque angle d'incidence, de 0° à 90° on représente la Résultante correspondante par un vecteur : ceci permet de tracer une courbe-enveloppe dénommée POLAIRE qui est la caractéristique d'un profil donné:



Observons cette courbe :

- la projection de la Résultante sur l'axe vertical est dirigée vers le haut: c'est donc bien une portance (ou CZ). La projection sur l'axe horizontal est dirigée vers l'arrière (sens inverse

du déplacement): il s'agit donc d'une résistance à l'avancement, dénommée traînée (ou CX).

- la résultante passe par un maximum pour une incidence de 10° à 15°, elle décroît ensuite brusquement entre 15° et 20°, pour rester ensuite sensiblement identique en valeur absolue entre 20° et 90° (aile perpendiculaire à l'axe du déplacement = cas d'une voile au vent arrière).

- bien entendu, l'orientation de cette résultante suit plus ou moins l'orientation de l'aile: elle est donc dirigée d'autant plus vers l'arrière que l'angle d'incidence est fort: il s'en suit que la traînée augmente avec l'angle d'incidence.

- en ce qui concerne la portance, on constate qu'elle augmente jusqu'à 10°-15°, puis décroît plus ou moins vite jusqu'à être nulle à 90° d'incidence.

Or, ce qui nous intéresse, pour un voilier à hydrofoils, comme pour un planeur, n'est pas l'angle de portance maximum (15°) mais l'angle fournissant le meilleur rapport Portance/Traînée (ou Finesse): c'est l'angle correspondant au point de tangence de la courbe avec le rayon issu de l'origine: ici 5° environ; on l'appelle angle de finesse maximum.

- à l'angle de finesse maximum (5°), la portance est de 96 tandis que la traînée n'est que de 10, soit une finesse de $96/10 = 9,6$. Ainsi, pour une portance de 100 kg, la traînée sera inférieure à 10 kg.

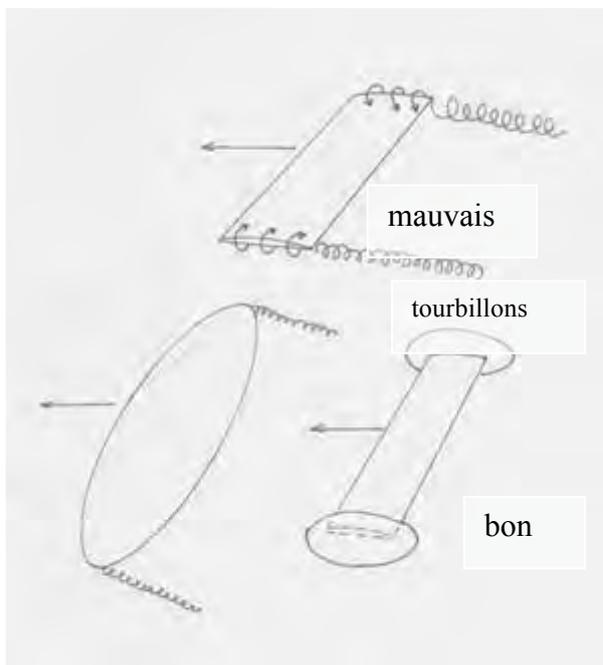
- on retiendra de cette courbe, qui est en fait très théorique, la notion d'angle de finesse maximum, qui est pratiquement toujours compris entre 3° et 5°.

Cette finesse de l'aile est un élément primordial dans le fonctionnement d'un voilier à hydrofoils: elle est fonction:

- du choix du profil,
- de l'allongement de l'aile A ; $A = L^2 / S$ (L = longueur de l'aile; S = surface)
- de la qualité de la réalisation (respect du profil, finition de la surface, organes parasites etc.)

En ce qui concerne le choix du profil, il ne fait pas de doute qu'un bord d'attaque arrondi, type « aviation », a une meilleure finesse, même dans l'eau, qu'un profil à bord d'attaque tranchant, type arc de cercle ou dérivé.

Nous verrons plus loin que c'est généralement ce 2^{ème} type de profil que l'on choisit pourtant dans la plupart des cas.



Pourquoi l'allongement de l'aile a-t-il une influence sur la finesse de celle-ci? Ceci est dû aux phénomènes de **pertes marginales**: en effet, à l'extrémité de l'aile, la zone de haute pression de l'intrados est au contact de la zone de dépression de l'extrados; il s'en suit une fuite de l'eau de l'intrados vers l'extrados ayant pour effet d'une part d'égaliser les pressions et donc de supprimer la portance dans cette zone, d'autre part de créer un tourbillon, dit **tourbillon marginal**. Il s'en suit une réduction de la finesse.

C'est pourquoi il est souhaitable d'avoir une aile aussi étroite que possible, principalement à son extrémité. Cela conduit en général à adopter une extrémité de forme elliptique, de préférence à une extrémité droite.

On peut aussi, pour limiter ces pertes marginales, disposer une cloison en bout de l'aile, qui tend à isoler l'intrados de l'extrados.

Dans la pratique, la finesse des hydrofoils courants est de l'ordre de 5 à 6 seulement, du fait des difficultés pratiques de réalisation d'ailes à grand allongement.

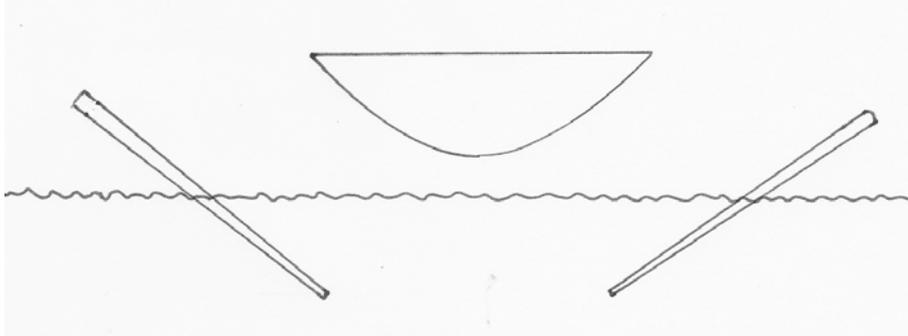
2.5.- Les principaux systèmes d'ailes marines

2.5.1.- Les ailes marines entièrement immergées -

Dans ce cas, et surtout si elles sont immergées à une profondeur suffisante de l'ordre de 2 fois leur largeur, leur comportement ne pose pas de problème hydrodynamique particulier et se rapproche beaucoup des données théoriques précédemment énoncées. Leur rendement est alors maximum : ce sont sans conteste les meilleures ailes marines possibles.

2.5.2.- Les ailes marines perçant la surface : type Véliplane 3 et Hydroptère

Nous verrons plus loin que, pour des raisons de stabilité uniquement, on est souvent amené à adopter sur les voiliers des ailes marines perçant la surface, c'est-à-dire des ailes très inclinées, qui ne sont entièrement immergées que lorsque le bateau est à l'arrêt, et qui sortent progressivement de l'eau lorsque celui-ci accélère et se soulève. Ceci présente l'avantage considérable de réduire la surface mouillée quand le bateau accélère.



Cette disposition pose cependant sur le plan hydrodynamique de très sérieux problèmes :

- à basse et moyenne vitesse, et sous réserve d'un profil à bord d'attaque tranchant, les inconvénients de cette formule restent faibles, sinon que la partie située immédiatement sous la surface ne bénéficie pas d'un bon rendement,

- à grande vitesse (disons, au-delà de 15 nœuds), il peut se produire, surtout par mer agitée, le redoutable phénomène de Ventilation de l'aile (qu'il ne faut pas confondre avec la Cavitation qui se produit à vitesse beaucoup plus élevée et pour des ailes, ou des pales d'hélice, entièrement immergées).

En effet, la présence d'une forte dépression à l'extrados de l'aile est susceptible de provoquer une aspiration de l'air en provenance de la surface avec pour conséquence une chute totale de la dépression et une forte baisse de la portance.

Pour lutter contre ce phénomène, on est conduit:

- 1° à adopter des profils à bord d'attaque aussi tranchant que possible, du genre arc de cercle ou dérivé. De tels profils ont des finesses plus faibles que les profils type "aviation", mais ne

comportent pas la forte "pointe" de dépression de ces derniers, ce qui réduit l'aspiration de l'air.

Par ailleurs, tout bord d'attaque arrondi perçant la surface (proue de navire par exemple) provoque une forte gerbe d'eau et une tendance au décollement des filets d'eau. Ceci, dans le cas d'une aile marine, ne manque pas de déclencher l'entrée d'air.

2° à placer à intervalles réguliers sur l'extrados de l'aile, des cloisons (ou "fences") destinées à bloquer, ou tout au moins à freiner, les entrées d'air qui pourraient se produire malgré tout.

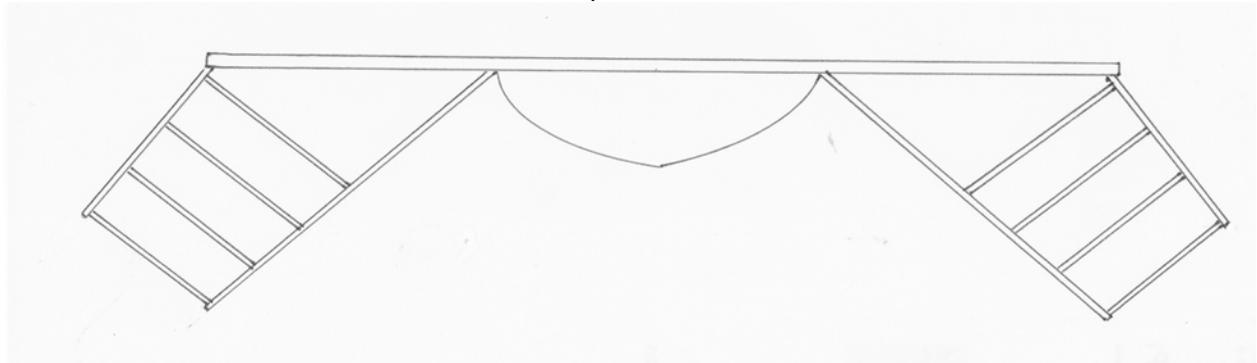
Les ailes perçant la surface ayant un niveau d'immersion constamment variable, il est impossible de se contenter d'une seule cloison, placée juste sous la surface : il faut en prévoir 2 ou 3 au minimum.

2.5.3.- Les ailes « en persienne » type Monitor

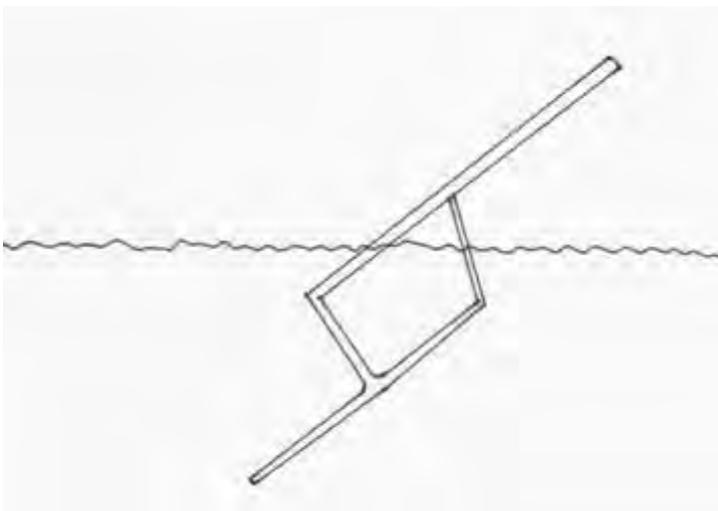
Il s'agit d'un système comportant un nombre plus ou moins important de plans superposés, plus comparables à un "store vénitien" qu'à une « persienne ». Ces plans peuvent être soit horizontaux, soit inclinés (type Monitor) .

Ce système présente l'avantage de pouvoir faire varier la surface totale immergée (par sortie d'un ou plusieurs plans) tout en gardant en permanence des plans entièrement immergés ne risquant pas les phénomènes de ventilation : c'est donc un système fortement autostable et d'un rendement très honorable sous certaines conditions: ces conditions sont que l'écartement entre les plans soit aussi grand que possible et en tous cas jamais inférieur à la largeur des plans, afin de limiter au maximum les interactions entre ceux-ci.

Ceci conduit, si l'on veut disposer de 3 ou 4 plans successifs, à un dispositif très encombrant et très difficile à réaliser mécaniquement.



2.5.4.- L'aile « en escalier » type Véliplane IV



Il s'agit d'un dispositif composite, intermédiaire entre les 3 types d'ailes marines précédemment décrits.

Elle comprend 2 parties :

- un plan supérieur de type "perçant la surface",
- un plan inférieur, plus petit **et décalé** par rapport au précédent (d'où le nom "en escalier") de façon que son extrémité inférieure dépasse celle du plan supérieur. Ce plan est placé de façon à ne pas percer la surface.

Dans la pratique, le plan inférieur est relié au plan supérieur par 2 supports dont l'un est situé au milieu du plan inférieur, l'autre à son extrémité (le support du milieu ayant la largeur de l'aile inférieure).

. Avantages du système :

- le plan inférieur n'est pratiquement jamais amené à percer la surface (sauf accident) : il est donc à l'abri de la ventilation et peut être équipé d'un profil à haut rendement avec bord d'attaque arrondi,
- toute la moitié inférieure de ce plan est totalement dégagée de l'influence du plan supérieur (à la différence de l'aile en persienne classique),
- le support central de cette aile, qui est fixé à l'extrémité de l'aile supérieure, constitue une fermeture totale du bord marginal, supprimant complètement les pertes marginales du plan supérieur.
- si, à la suite d'un accident (passage d'une vague), le plan inférieur vient à percer la surface, le support central constitue encore une cloison parfaite, supprimant toute ventilation de l'extrémité inférieure de ce plan.

. Inconvénients du système :

- la moitié supérieure du petit plan est soumise à l'interaction du plan supérieur,
- les supports présentent une traînée non négligeable et sans effet porteur,
- la réalisation est délicate.

2.6.- Exemple pratique de calcul des surfaces d'un bateau à ailes marines -

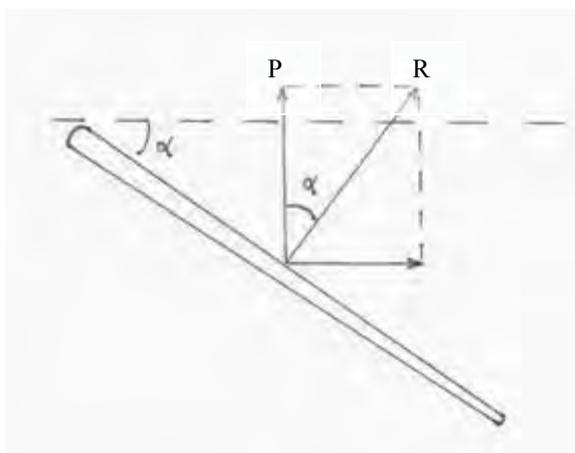
On a vu plus haut que la portance ou résultante R d'une aile marine est une fonction simple de la forme :

$$R = K \cdot S \cdot V^2$$

(on peut confondre dans la pratique Portance et Résultante pour des finesses supérieures à 6)

L'expérience pratique donne un coefficient k de l'ordre de 3 à 5

-
- pour une incidence de l'ordre de 3°,
- pour une surface S exprimée en m2,
- pour une vitesse V exprimée en nœuds .



Si l'aile est horizontale, la portance P est sensiblement égale à la résultante R. Par contre, si l'aile est inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontale, on aura :

$$P = R \times \cos \alpha$$

ou

$$R = P \times 1/\cos \alpha$$

Soit un bateau pesant au total 230 kg, dont les charges sont réparties ainsi : 25 %, soit 57 kg sur une aile arrière horizontale, 75 %, soit 173 kg sur les ailes avant inclinées à 40°.

Pour obtenir un décollage à 10 nœuds, la surface devra être la suivante :

- à l'arrière: $S = P / k V^2 = 57 / 5 \times 100 = 0,11 \text{ m}^2$
avec $k = 5$ (aile entièrement immergée)

- à l'avant: $S' = R / k' V^2 = 0,65 \text{ m}^2$
avec $R = P \times 1 / \cos 40^\circ = 226 \text{ kg}$
et $k' = 3,5$ (aile perçant la surface)

A 20 nœuds, ce bateau aura besoin des surfaces suivantes :

$$S = 57 / 5 \times 400 = 0,03 \text{ m}^2$$

$$S' = 226 / 3,5 \times 400 = 0,16 \text{ m}^2$$

On comprendra aisément la nécessité de réduire rapidement la surface au fur et à mesure que l'engin accélère. On peut aussi réduire progressivement l'incidence et donc le coefficient k.

La stabilité

La stabilité en matière de bateau à voile est toujours un problème clef. Les voiliers à hydrofoils n'y échappent pas et offrent toute une gamme de problèmes propres et de solutions qui ont de quoi occuper bien des chercheurs pendant de nombreuses années.

D'une façon générale, la stabilité d'un bateau à ailes marines ne peut être obtenue que de 3 façons (ou par une combinaison d'entre elles).

- En utilisant des ailes inclinées perçant la surface, dont les variations de surface immergée permettent de faire varier la portance.

Nous verrons plus loin qu'en fait ces ailes inclinées perçant la surface peuvent assurer la stabilité latérale d'un voilier sans variation de surface immergée, du fait de l'autocompensation.

- En utilisant des ailes « en persiennes » dont l'émersion d'un ou plusieurs plans permet de faire varier la portance du système.

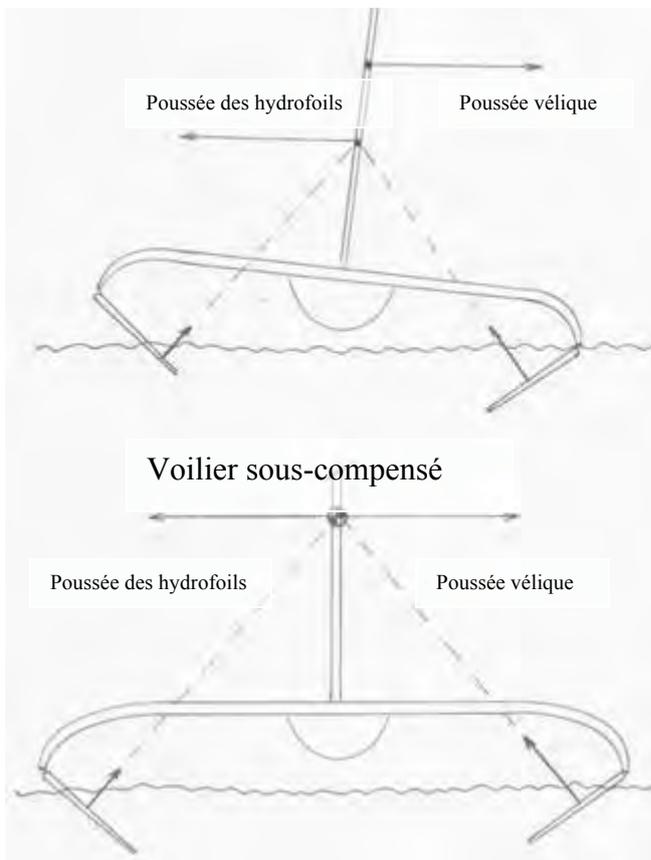
- En utilisant des ailes entièrement immergées à incidence contrôlée, dont les variations d'incidence permettent de faire varier la portance.

1°- LA STABILITE LATERALE

Ce problème est fondamental pour un voilier, étant donné le couple basculant de la voile.

Cette stabilité peut être obtenue par l'un ou l'autre des procédés évoqués ci-dessus, ou par une combinaison de ceux-ci (par exemple Monitor qui utilise des ailes inclinées, en persiennes, à incidence variable !).

1.1.- Ailes inclinées et placées symétriquement de part et d'autre du bateau -

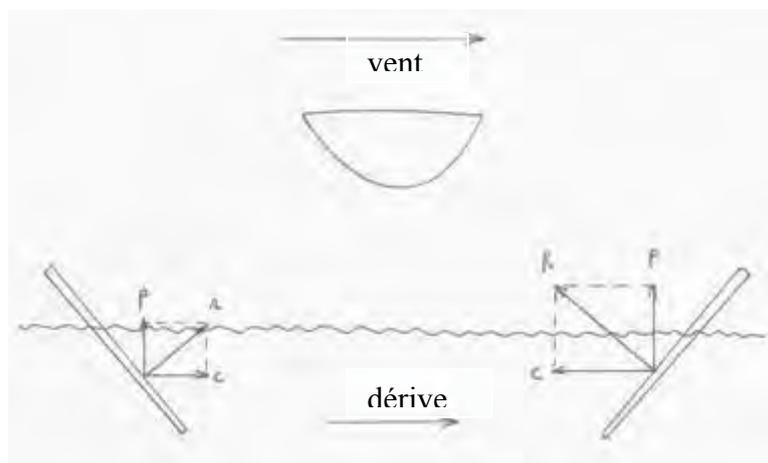


Ce système oblige pratiquement à utiliser des ailes perçant la surface. Ces ailes ont alors à la fois un rôle porteur et un rôle de contre-dérive: ce double rôle a pour conséquence un phénomène extrêmement important dénommé AUTO-COMPENSATION.

En effet, l'angle de dérive du bateau (2 à 3°) a pour effet d'augmenter l'incidence (et donc la portance) de l'aile "sous le vent" et de diminuer l'incidence (et donc la portance) de l'aile "au vent". Il s'en suit un effet de contre-gîte très important, qui se produit même si le bateau reste parfaitement horizontal : tout se passe comme si un merveilleux dispositif automatique avait modifié l'incidence des ailes de façon à compenser le couple basculant de la voile.

Bien entendu, dans le cas où cette auto-stabilité n'est pas suffisante il s'en suit une légère gîte du bateau, avec augmentation de la surface portante sous le vent et diminution de la surface portante au vent, ce qui a pour effet de rétablir l'équilibre.

Il faut noter que le phénomène d' auto-compensation est d'autant plus fort que l'inclinaison des ailes est plus faible. Il n'est malheureusement pas possible de réduire considérablement cette inclinaison, si l'on veut conserver une contre-dérive suffisante. Les très nombreuses expériences poursuivies par l'auteur et d'autres chercheurs ont montré que cet angle devait être compris entre 35° et 45° par rapport à l'horizontale. Il faut noter aussi que cette auto-stabilité n'est obtenue que si on supprime tout plan de « dérive » vertical .



On remarque aussi sur la figure que la composante horizontale de la résultante de l'aile au vent, qui a un effet parasite, est très faible. En ce qui concerne la traînée de cette aile, il faut cependant noter qu'elle n'est pas aussi faible que l'on pourrait l'espérer, du fait de la résistance de frottement, de la turbulence marginale et des organes parasites.

Bien entendu, ce système peut parfaitement se combiner avec des ailes "en persiennes" (cas de Monitor) ou « en escalier » (type Véliplane IV).

Exemples de voiliers à ailes inclinées perçant la surface

- Monitor de BAKER
- Voiliers de NIGG (FLYING FISH).
- ICARUS et MAYFLY.
- VELIPLANES.
- PEN DUICK VII et HYDROPTERE etc...

ce fut pendant longtemps, voire encore de nos jours, la solution la plus utilisée (voir ci-dessous)



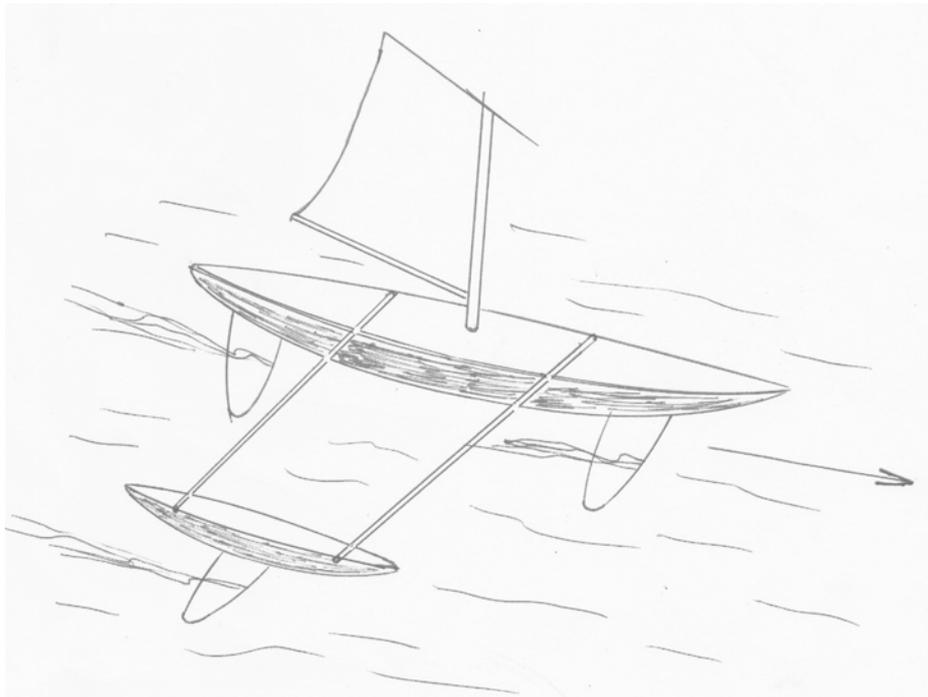
SPITFIRE (marine BDG) 12 m
Volant à 30 nœuds

1.2.- Ailes inclinées à disposition dissymétrique -

Ce dispositif est applicable en particulier à un prao dont la coque principale, placée sous le vent, supporte l'essentiel de la charge, compte tenu de la poussée de la voile. On dispose alors sous cette coque 2 ailes marines inclinées (à l'avant et à l'arrière), orientées de façon à s'opposer à la dérive. Un 3^{ème} petit plan, orienté de la même façon, est placé au vent.

Ce système a l'avantage, par rapport aux systèmes symétriques, de ne présenter que des plans inclinés dans le bon sens.

Cependant, ce type d'engin, comme tous les voiliers dissymétriques, **ne peut pas virer de bord** : il doit, pour changer d'amure, effectuer une difficile manœuvre de retournement, et repartir en "marche arrière", avec tous les problèmes que cela pose, en particulier sur le plan des incidences et des profils d'ailes.



Maquette de
l'aérohydrofoil par
B. Smith

L'exemple connu de ce type de bateau est celui de l'Américain B. SMITH, auteur de l'ouvrage "The Forty Knots Sailboat", devenu depuis une véritable « bible » des amateurs d'hydrofoils. Cet engin, de l'aveu même de l'auteur, n'a jamais fonctionné convenablement à échelle grandeur. Il a par contre donné d'excellents résultats en maquettes, équipé d'une voilure rigide. De nombreux amateurs se sont lancés sur cette voie, en particulier Didier COSTES en France.

1.3.- Ailes entièrement immergées à incidence contrôlée –

c'est la solution actuellement la plus couramment employée et c'est celle qui détient tous les records de vitesse.

Pour être entièrement immergée à une profondeur suffisante et ne pas risquer de percer la surface, une aile marine peut difficilement être fortement inclinée: elle ne peut donc profiter du phénomène d'auto-compensation.

En conséquence, elle est naturellement totalement instable, c'est-à-dire que sa portance est pratiquement identique, quelle que soit la profondeur de son immersion. Le seul moyen de faire varier sa portance (et donc de lui faire assurer une quelconque stabilité) est d'agir sur son incidence.

Ce contrôle de l'incidence peut être obtenu :

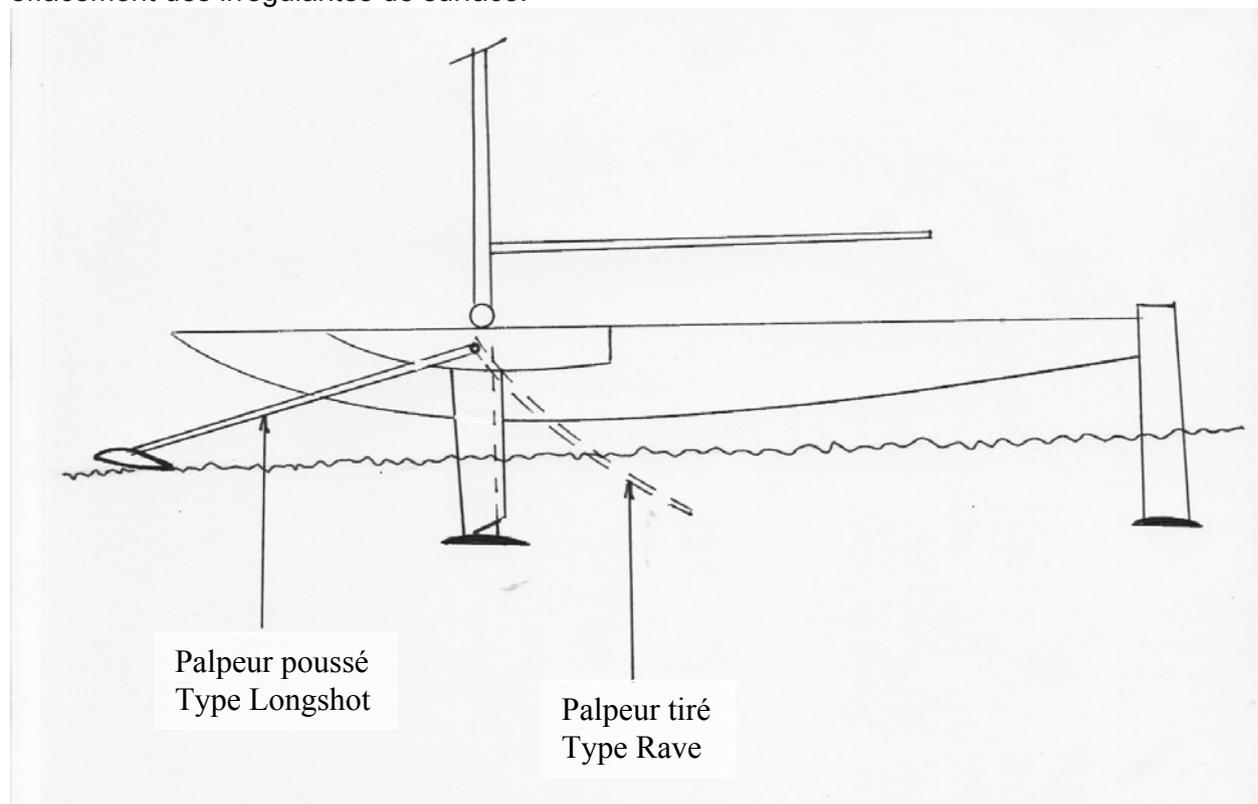
- soit par une commande manuelle (« manche à balai »), ou par variation du centre de gravité, qui met à rude épreuve l'habileté du pilote (le cas extrême est celui des surfs à foils où l'équilibre est digne d'un numéro de cirque)
- soit par une commande automatique qui est en pratique le seul moyen d'assurer une stabilité suffisante sur les 2 axes.

Toute commande automatique est basée sur un détecteur de profondeur ou, ce qui revient au même, un palpeur de surface. Ce dispositif qui détermine la profondeur d'immersion de l'aile doit ensuite actionner la commande d'incidence de celle-ci de façon à augmenter la portance si l'aile est trop enfoncée, à la diminuer si l'aile est trop près de la surface.



Dans la pratique, on distingue deux principaux types de palpeurs :

- **les palpeurs poussés** (système Hook ou Longshot-Trifoiler) qui commandent directement l'ensemble pod-hydrofoil. D'autres commandent l'incidence du foil par un système plus ou moins complexe de biellettes. On introduit généralement entre le palpeur et la commande d'incidence un amortisseur, destiné à intégrer les irrégularités de la surface.
- **Les palpeurs tirés** : (système Sam Bradfield : voir SCAT ou RAVE) dont le fonctionnement est quasiment identique mais où le palpeur est très simplifié : c'est une simple « canne à pêche » souple qui traîne vers l'arrière, et dont l'étroitesse permet un relatif effacement des irrégularités de surface.



De tels systèmes sont relativement complexes, difficiles à mettre au point, et surtout très fragiles.



RAVE

Parmi les ancêtres de la formule, il faut citer:

- le prao "DIGEREEDO" de Rodney GARRET et Peter SHAW,
- le prao "KOTAHA" de Leif SMITT,
- le catamaran "MISS STRANS GLASS",
- une version de MAYFLY de P. HANSFORD.



Moth à foils

Enfin, il faut citer le système de commande de d'incidence de **Monitor**, qui n'est pas basé sur la détection de la profondeur de l'aile, mais sur la traction des haubans. En effet, les haubans sont fixés sur des biellettes placées derrière le tube

porteur des hydrofoils, lequel pivote à l'intérieur de la coque. Un système de ressorts de rappel permet un réglage de l'ensemble. Ainsi, lorsque le hauban au vent tire sur la biellette, le tube pivote et les hydrofoils basculent vers l'arrière, ce qui a pour effet de réduire leur incidence.

Ceci a donc pour effet de réduire la portance des ailes au vent, et donc de compenser la poussée de la voile.

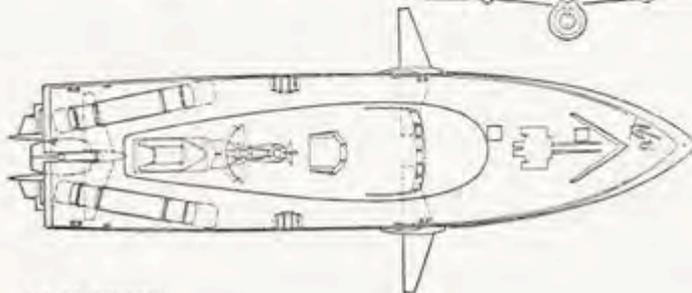
Ce système très difficile à régler, ne paraît valable qu'accompagné d'autres dispositifs stabilisants, ce qui est le cas pour Monitor.

1.4 Cas des bateaux à moteur :

En configuration « hydroptère », la propulsion est assurée au contraire par une hélice carénée étudiée par la SOGREAH sur marché de la DGRST; cette hélice ou propulseur immergé (porté par le mât arrière, sous le plan porteur correspondant) assure un rendement élevé et peut fonctionner sans cavitation à des vitesses supérieures à 50 nœuds. Son entraînement est assuré par les deux Turbo-III C-3, placés à l'arrière, et actionnant une boîte de trans-



Plan trois-vues schématique du futur SA 805. En haut du mât, l'antenne de radar de veille; à mi-hauteur, l'antenne du radar de tir; à l'avant, le canon bitube de 30 mm; à l'arrière, les deux rampes de lancement des « Exocet ». On remarque, sous le plan porteur arrière, le propulseur Sogreah.



AIR ET COSMOS

Bien entendu il existe, sur certains bateaux à moteur (« l'Hydroptère » de la SNIAS (à ne pas confondre avec celui d'Alain THEBAULT !), des vedettes rapides de l'US Navy, des vedettes civiles de Boeing), des systèmes électroniques de détection de la profondeur qui actionnent automatiquement les correcteurs d'incidence... ceci ne paraît guère à la portée d'un voilier et, a fortiori, d'un amateur.... personne ne semble pour l'instant s'y être frotté !

L' HYDROPTERE (SNIAS)

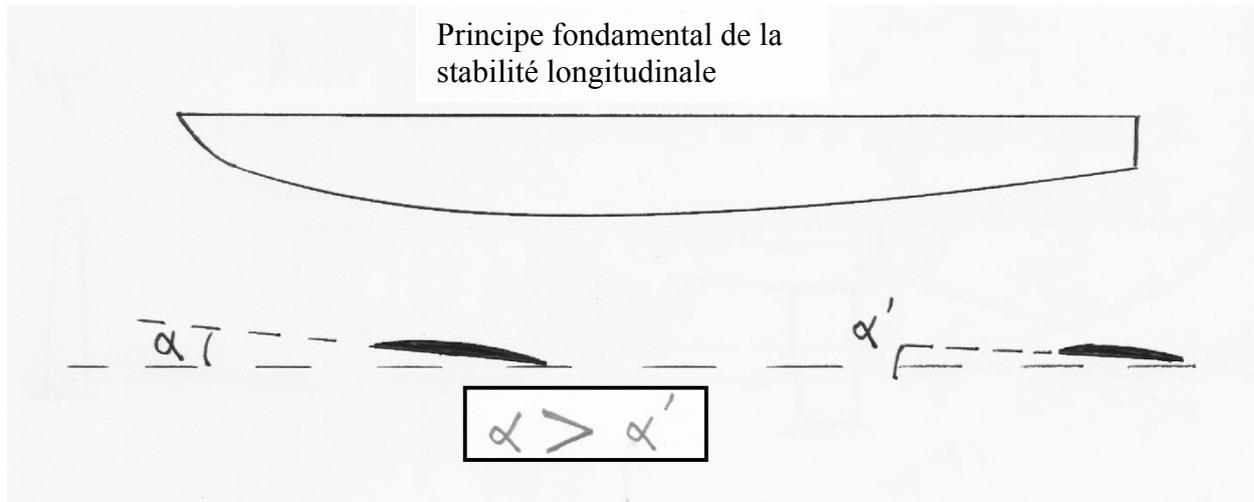
2° LA STABILITE LONGITUDINALE -

L'existence d'un problème de stabilité longitudinale peut surprendre le marin habitué aux bateaux à déplacement, alors qu'il est habitué aux problèmes de stabilité latérale : Ce problème est pourtant très délicat sur les voiliers à hydrofoils qui sont des avions marins et il ne comporte pas de solution simple.

La difficulté provient de l'importance de l'écart entre le centre de poussée vélique et le centre de traînée des hydrofoils. Les deux forces qui s'y appliquent, de même valeur et de sens opposé, forment un couple de rotation qui tend à faire basculer le bateau vers l'avant; le plus grave étant que ce couple de rotation est excessivement variable en fonction de la force du vent, de l'orientation de la voile, de la hauteur du bateau au-dessus de l'eau, etc..

Il importe donc que le voilier à ailes marines possède une forte auto-stabilité longitudinale, à moins de prévoir, comme pour la stabilité latérale, un contrôle par variation d'incidence, c'est-à-dire un pilotage automatique ou manuel.

Cette stabilité longitudinale doit avant tout, comme sur un avion, être assurée par un V longitudinal, c'est-à-dire que l'aile avant doit obligatoirement avoir une incidence supérieure à celle de l'aile arrière.



Cette disposition permet, lorsque se produit une augmentation de la poussée de la voile et donc une accélération du bateau, d'empêcher l'enfoncement du nez du fait que la portance de l'aile avant va croître plus vite que celle de l'aile arrière. Toute accélération se traduit donc, au départ, par un "cabré" de l'engin, les autres dispositions interviennent ensuite pour rétablir plus ou moins l'horizontalité!

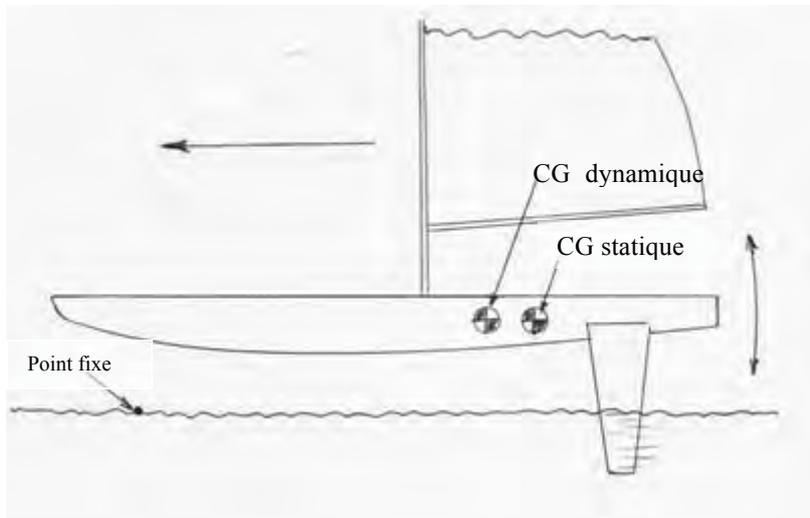
Un bateau à ailes marines dont l'accélération se traduirait au départ par un abaissement du nez doit donc être considéré comme instable et dangereux.

Toutes les considérations qui suivent sont applicables à des engins pourvus essentiellement d'ailes auto-stables, c'est-à-dire du type "perçant la surface" ou "en persiennes" ou "en escaliers". La stabilité longitudinale d'un engin à ailes entièrement immergées serait de toutes façons assurée par les systèmes propres à en garantir la stabilité latérale (palpeurs de surface ou détecteurs de profondeur, ou pilotage manuel).

Bien entendu, cette stabilité est également conditionnée par un écartement aussi grand que possible entre les plans porteurs avant et arrière, condition qui n'est pas souvent remplie, dans la pratique : on rencontre très souvent des engins littéralement « en équilibre » sur les foils avant (Hydroptère, Rave), le foil arrière ramené à sa plus simple expression !

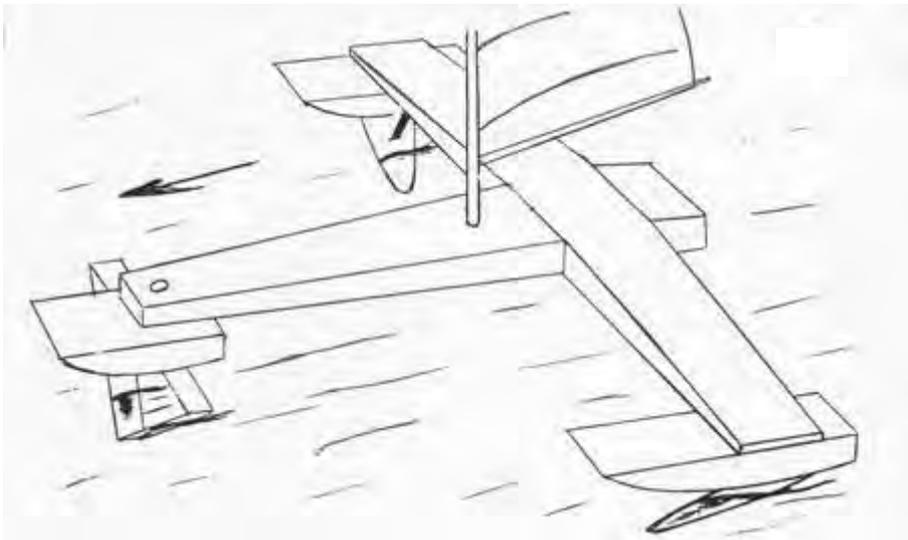
2.1.- La stabilisation par l'avant: (ou configuration « canard ») –

Dans ce cas, l'essentiel de la charge est supporté par les ailes arrière qui sont évidemment les plus grandes. Les ailes avant, plus petites, sont soit disposées en V et perçant la surface, soit du type "en persiennes". Elles servent à la fois de plan porteur et de gouvernail, qui se trouve donc reporté à l'avant (il est pratiquement impossible, pour des raisons de bras de levier, de faire virer un tel engin avec un gouvernail à l'arrière). Le centre de gravité est placé de façon que la charge alaire (par unité de surface), compte tenu de la poussée de la voile, soit légèrement supérieure à l'avant qu'à l'arrière, pour tenir compte du V longitudinal : l'incidence de l'aile avant sera comprise entre 3° et 5° . Celle de l'aile arrière sera comprise entre 0° et 2° , ce qui lui assure malgré tout une portance non négligeable. Cette disposition est probablement la meilleure sur le plan théorique. En effet, nous avons vu qu'un engin stable devait automatiquement cabrer en accélérant: que se passe-t-il avec une stabilisation par l'avant ?



L'aile avant est conçue de façon que son émergence se fasse plus vite que celle de l'aile arrière : elle arrive donc très rapidement à une position d'équilibre et n'en bouge pratiquement plus; elle constitue alors une sorte de "point fixe" autour duquel pivote le bateau. A partir de ce moment-là, les accélérations qui pourront se produire vont entraîner un relèvement progressif de l'arrière jusqu'à obtention d'un nouvel équilibre.

Il s'en suit qu'à grande vitesse, cet engin prend une allure horizontale, voire même légèrement piquée, tout en restant parfaitement stable et il se produit une réduction progressive des incidences.

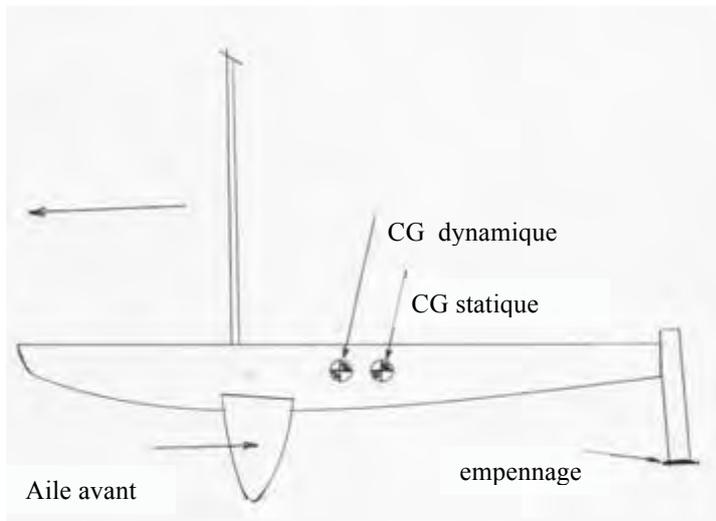


configuration
« canard », type
NIGG

Le Sam Bradfield NF² : un excellent "canard" à foils
« en persiennes »



2.2.- La stabilisation par l'arrière: (ou configuration « Avion ») : type Hydroptère ou Véliplane



Cette stabilisation s'apparente à celle de l'avion classique, avec cependant certaines particularités qui jouent heureusement dans le bon sens.

Dans ce cas, l'essentiel de la charge est supporté par les ailes avant, l'aile (ou les ailes) arrière n'en supportant qu'une petite partie : on note qu'il y a là une différence importante avec l'avion, dont l'empennage a une portance nulle ou légèrement négative.

Comme dans le cas précédent, les ailes avant ont une incidence plus forte que l'aile

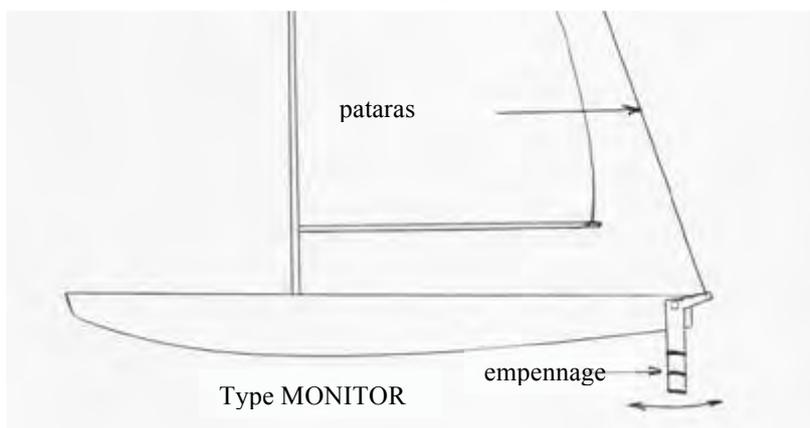
arrière: dans la pratique, l'incidence doit être voisine de 0° à l'arrière (ce qui assure cependant une portance non négligeable) tandis que l'incidence à l'avant doit être aussi proche que possible de l'angle de finesse maximum (environ 3°).

L'aile arrière pourra être soit en V et perçant la surface, soit horizontale et entièrement immergée. Dans ce dernier cas, son incidence devra obligatoirement être très faible ou nulle : ainsi lorsque le bateau accélère, il tend à se cabrer, conformément aux conditions de stabilité précédemment énoncées; il s'en suit une augmentation de l'incidence de l'empennage, dont la portance croît immédiatement, et l'arrière à son tour se soulève. On constate cependant que, contrairement à ce qui se passe avec la configuration canard, l'assiette du bateau reste légèrement cabrée quelle que soit la vitesse, ce qui ne permet pas la réduction progressive des incidences pourtant très favorable au rendement à grande vitesse.

On notera que cette disposition réduit considérablement l'écart entre foils avant et arrière, et donc la stabilité longitudinale...en conséquence, il convient de garder à tout prix une certaine charge sur l'aile arrière car, dans le cas contraire, une augmentation de la poussée vélique pourrait entraîner un basculement vers l'avant du bateau, qui ne pourrait être compensé, comme sur un avion, par une portance négative de l'aile arrière car celle-ci, sortant de l'eau, n'aurait plus aucune efficacité. Dans la pratique, une charge de 25 % sur l'arrière, compte tenu de la poussée vélique, paraît raisonnable (la charge statique est évidemment beaucoup plus importante).

Cette disposition s'accommode très bien de quelques dispositifs de correction d'assiette longitudinale. Ces dispositifs peuvent être soit automatiques, soit manuels.

Correction d'assiette automatique:



en dehors de divers procédés complexes déjà cités à propos de la stabilité des ailes entièrement immergées, il faut citer surtout le correcteur d'assiette de Monitor : sur ce bateau, le pataras est fixé sur une biellette placée en arrière de l'empennage de façon que la traction du mât tende à réduire

l'incidence de l'empennage qui est monté sur un axe transversal.

Le total est bien entendu soigneusement réglé et compensé par divers ressorts. On obtient ainsi une réduction de la portance de l'empennage lorsque se produit une augmentation de la traction du mât sur le pataras : ceci a donc un effet stabilisateur.



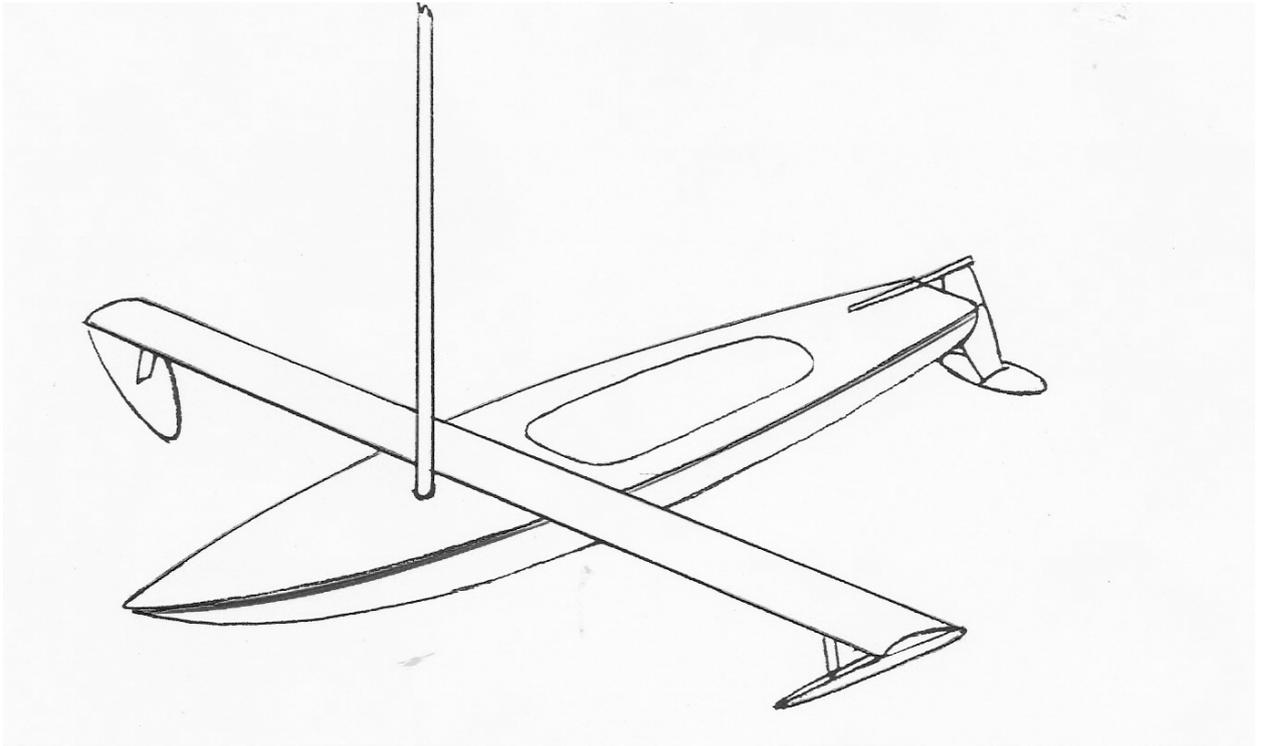
Le Moth à foils : pilotage de l'aile avant par palpeur traîné

(noter la position centrale du foil avant qui réduit considérablement la stabilité longitudinale...quand à la latérale, n'en parlons pas !)

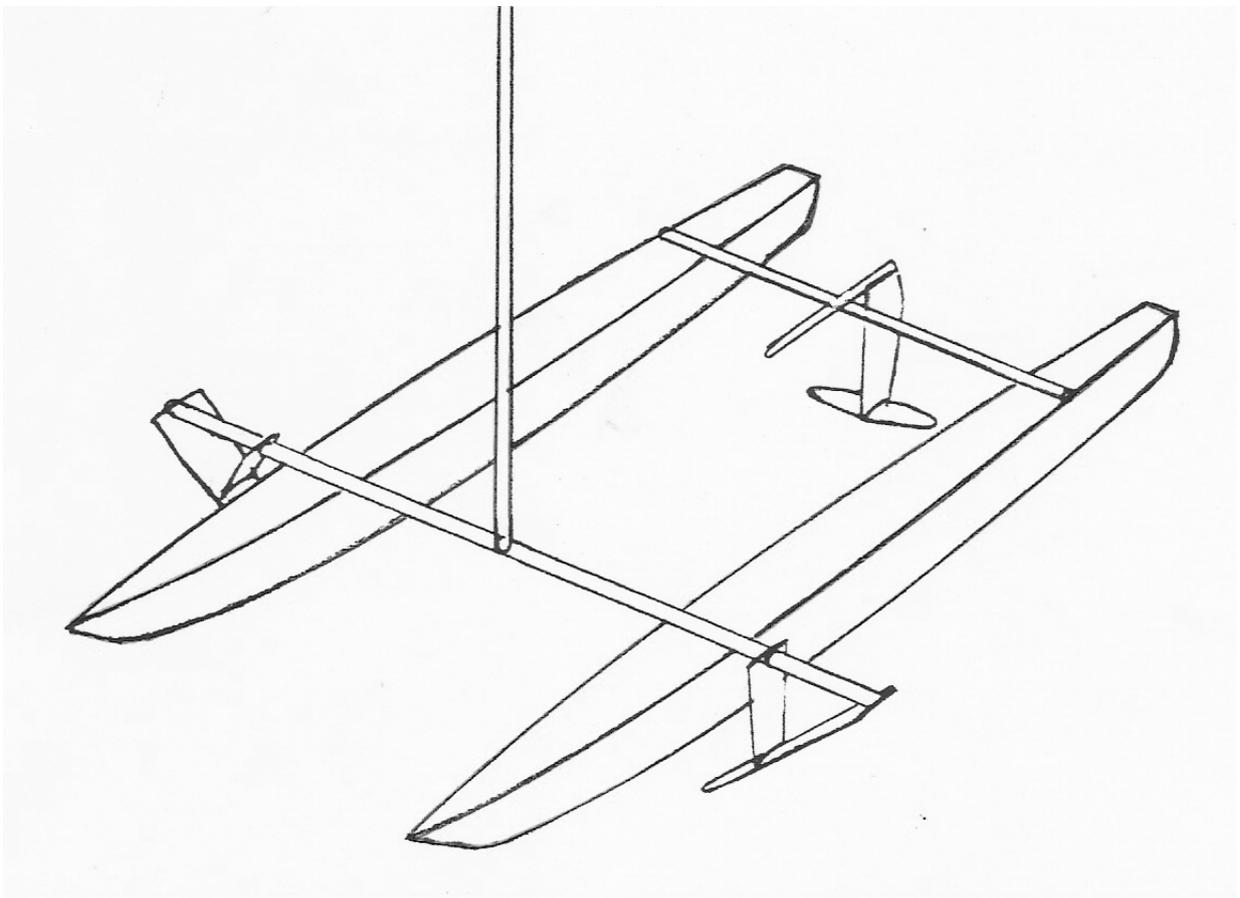
Correction d'assiette manuelle :



il faut citer le dispositif très simple et très efficace employé sur Véliplane III et IV: il s'agit simplement d'un « volet de profondeur » en tout point comparable à celui d'un avion, placé sur l'empennage. Ce volet est commandé par un câble bowden (ou téléflex !) qui le relie à une sorte de "manche à balai" disposé en bout du stick. Ce dispositif permet d'une part de corriger les éventuels défauts d'assiette qui peuvent se produire avec la configuration avion, d'autre part de donner au bateau à ailes marines une réelle mobilité dans la 3^{ème} dimension capable de l'aider, par exemple, à franchir une grosse vague.



configuration « avion » type Hydroptère ou Véliplane



configuration « avion » type Mayfly ou Icarus

CHAPITRE IV

L'EVOLUTION D'UNE FORMULE: LES VELIPLANES

1.- LES ORIGINES - première maquette-

L'idée de construire un voilier à ailes marines me vint en 1964. J'ignorais alors tout des expériences faites aux U.S.A. et j'étais alors très sceptique quant aux chances de réussite d'une telle expérience. Malgré tout le sujet me parut abordable et mon expérience du maquettisme me permettait de mettre rapidement en pratique les quelques idées que j'avais sur la question: il s'agissait de réaliser un engin disposant :

1 - D'une grande surface portante des ailes marines (je sous-estimais alors fortement la capacité de portance unitaire de ces ailes...le coefficient CZ !).

2 - D'un moteur puissant, c'est-à-dire d'une grande surface de voilure; ceci imposait donc parallèlement une grande stabilité, assumée par des ailes marines très écartées.

J'estimais à l'époque que les ailes marines devaient être disposées en V, de façon à percer la surface, mais en V très ouvert (faible inclinaison) de façon que la variation de surface immergée provoquée par l'inclinaison soit aussi rapide que possible et que la portance de ces ailes soit dirigée le plus possible vers le haut, car j'estimais que la composante horizontale de cette portance était perdue pour le système. Cette conception était évidemment due à mon ignorance du phénomène d' auto-compensation, si important dans la stabilité de ces engins.

De plus, cette disposition des ailes presque à plat obligeait à conserver un plan de dérive vertical, ce qui ne simplifiait pas la construction et réduisait à néant l' auto-compensation.

Ces quelques principes étant posés, je passai donc à la réalisation d'une maquette d'environ 1 m de long, très comparable dans son principe au Véliplane I tel qu'on peut le voir sur les photos (paradoxalement, je n'ai aucune photo de cette maquette !).

Cette maquette, équipée d'une girouette automatique et lestée d'un sachet de sable à l'arrière et d'un autre en bout de poutre, fut un jour de printemps 1965 lâchée au gré de son destin, poussée par une bonne brise... et c'est alors que le "miracle" se produisit: le bateau, après quelques mètres d'accélération, sortit brusquement de l'eau et se mit à glisser à une vitesse folle sur ses ailes marines. Cette expérience, qui se déroula sans témoins, est inscrite à jamais comme une des plus grandes émotions de mon existence: j'avais vraiment accouché d'un phénomène auquel je n'osais croire quelques instants auparavant ! Il ne fait aucun doute que ce jour décida en grande partie de mon avenir car le "Virus" était en moi... il ne devait plus me quitter.

Après avoir prolongé quelques semaines mes essais de la maquette, j'eus l'imprudence de considérer le problème comme quasiment résolu et de passer sans plus attendre à la réalisation d'un modèle en vraie grandeur qui ne reçut que plus tard le nom de Véliplane. Ce fut sans aucun doute une grave erreur, car il était bien plus facile et plus rapide de perfectionner une maquette qu' un modèle grandeur... ce ne fut pas, hélas, la dernière ! ...

2.- LE VELIPLANE 1-

Commencé en octobre 1965, il fit ses premiers essais en mai 1966, soit 8 mois de travail à une époque où, heureusement, les loisirs ne me faisaient pas défaut !



C'était un trimaran de 4,50 m de long, 4 m de large, pesant 125 kg environ. Il était réalisé entièrement en contreplaqué. Même le mât fut réalisé "sur mesures" : c'était une magnifique pièce de 7 m de haut, destinée à recevoir une voile de 17 m²... qui ne fut jamais montée, car je dus me contenter d'une voile de 12 m² récupérée sur mon vieux « As Côte d'azur ».



Les premiers essais de cet engin furent tout de suite encourageants : le décollage était obtenu facilement avec un vent de force 3 environ. La vitesse atteinte ne fut jamais véritablement mesurée, faute de speedomètre. Elle était cependant très supérieure à celle des dériveurs naviguant dans le voisinage et devait se situer aux environs de 12 à 15 nœuds. Un grave défaut apparut tout d'abord : l'engin, pourvu d'un grand plan fixe devant le gouvernail, refusait pratiquement de virer, sauf par

empannage bien sûr !

Je mis donc en chantier immédiatement un nouvel empannage, entièrement mobile (l'idée était bonne) mais constitué assez malencontreusement d'un entrelacs de plans horizontaux, verticaux et obliques dont le résultat hydrodynamique ne devait pas être très brillant, car il gerbait énormément. Mais cette fois, le bateau virait, sans trop de mal !

C'est ainsi que l'été 1966 s'écoula. Le manque de vent, hélas, ne me permit pas de sortir très souvent. Par ailleurs, l'encombrement considérable de l'engin, qui restait juché sur ses doubles dérives fixes, toutes ailes déployées, le rendait d'un emploi difficile et dangereux. (c'est d'ailleurs encore de nos jours l'inconvénient principal de presque tous les voiliers à hydrofoils !).



Enfin, de nouvelles fonctions m'entraînèrent loin de tout plan d'eau... Le véliplane I fut remis dans un hangar... pour ne plus jamais en sortir.

Ces premières expériences donnèrent lieu à un article que je fis paraître dans "Nautisme" en novembre 1966. Cet article, pourtant illustré de photos assez prometteuses, eut très peu d'échos, du moins à ma connaissance...mais sans

doute ne fut-il pas perdu pour tout le monde !...

3 - LE VELIPLANE II

A l'issue de ces 3 ou 4 mois d'expérimentation, mes idées sur la question prirent brusquement une orientation différente : au lieu de persévérer dans une voie déjà bien déblayée, je décidais de rechercher un dispositif basé sur le principe de l'escamotage intégral des ailes, destiné à permettre une navigation normale par petit temps sans être handicapé par des ailes immergées ou par une grande poutre transversale.



Je conçus donc un voilier monocoque pourvu d'ailes marines rattachées directement à la coque et repliables sur le pont par simple rotation. La coque elle-même devait être du type "SCOW" c'est-à-dire avec un fond en W.

Les essais furent poursuivis sur 2 maquettes pendant plusieurs années. (voir ci-contre)

Aucune de ces deux maquettes ne donna vraiment satisfaction: j'imputai ces difficultés à l'absence d'un pilotage précis (bien que la 2^{ème} ait été télécommandée) et décidai, en 1970, de tenter une expérimentation à échelle grandeur, sur la

base d'une coque de "470" qui recevrait des ailes marines repliables sur le pont :



Ce fut le véliplane II qui fit ses premiers essais en été 1971. Ces essais furent longs, difficiles et décevants. L'engin n'accepta qu'une seule fois de décoller franchement, avec 2 personnes à bord (équipier au trapèze), un jour de forte brise: ce fut quand même une belle cavalcade, qui se termina par la perte d'une aile !

Cette mauvaise volonté à décoller m'amena à supprimer l'équipier, pour gagner du poids, et à naviguer seul, en barrant au trapèze, exercice quelque peu

éprouvant. L'engin commençait à manifester de meilleures intentions... il eut suffit alors de penser à remonter la dérive et à augmenter le dièdre des ailes pour obtenir un bateau à ailes marines parfaitement viable, bien que très sportif...mais d'autres depuis ont fait encore pire !

C'est alors que j'eus connaissance, par l'ouvrage de J. GROGONO - D.J.NIGG et ALEXANDER "Hydrofoil Sailing", des recherches effectuées en ANGLETERRE et aux U.S.A. : je découvris aussi et surtout l'auto-compensation et les avantages des ailes à fort dièdre : ça, vraiment, je n'y avais pas pensé et c'est la cause de bien des déboires.

Le véliplane II fut donc fortement modifié pour tenir compte à la fois des résultats de mes expérimentations et des enseignements de mes collègues anglo-saxons.

Ces modifications aboutirent au véliplane III. La formule des ailes entièrement escamotables était donc abandonnée ; elle présentait pourtant de sérieux avantages comme par exemple de pouvoir rentrer au port comme n'importe quel dériveur en se faulant entre les bateaux au mouillage, ou de se ranger sans peine dans n'importe quel emplacement exigü. Mais ces avantages ne peuvent en aucun cas compenser les inconvénients d'un bateau trop étroit et résolument instable.

J'avais finalement travaillé 6 ans sur une formule peu viable !

Les essais décevants sur maquettes auraient pourtant dû m'inciter à changer de voie plus rapidement. Il y a là un enseignement que je ne suis pas près d'oublier et que je souhaiterais faire comprendre à d'autres amateurs.

4.- LE VELIPLANE III -

Afin de perdre le minimum de temps (et d'argent !), je décidai en 1972 de conserver la coque et les ailes marines du véliplane II, mais en y ajoutant une grande poutre transversale en contreplaqué qui portait la largeur de l'ensemble à 4,50m.

Les ailes marines étaient fixées en bout de cette poutre et leur dièdre était porté à 40°. Le repliage des ailes se faisait jusqu'à l'horizontale, ce qui permettait l'échouage sans difficulté: ce repliage est assuré par le coulissement vers l'intérieur de l'extrémité supérieure de la contre-fiche verticale servant de 3ème point d'appui à l'aile (les 2 autres points d'appui étant des ferrures fixées en bout de poutre). Ce mécanisme est actionné par 2 câbles qui permettent la montée et la descente des ailes.



L'empennage fut, selon les idées de P. HANSFORD, constitué par une simple petite aile placée en bout de safran (T inversé), ce qui le plaçait dans de très bonnes conditions hydrodynamiques (pas de "ventilation" possible), mais rendait très difficile son repliage : dans la pratique, il était nécessaire, pour approcher de la plage, d'enlever cet ensemble en T et de le remplacer par le safran repliable du "470" ... exercice hautement périlleux en mer !

C'est donc sous cette forme que le véliplane III fit ses premiers essais en 1973. Les premiers décollages réussis tardèrent un peu par suite de diverses ruptures qui se produisirent au

niveau des fixations d'ailerons. Cependant, dès la fin de l'été 1973, le bateau décollait très facilement par brise de force 3 (soit 15 nœuds de vent environ).

La vitesse de décollage était de l'ordre de 10 à 12 nœuds et des pointes de 15 à 16 nœuds (soit une vitesse relative de l'ordre de 1 étaient observées sur le speedomètre du bord, quand il voulait bien marcher !



Véliplane III version 1973

Par la suite, l'évolution du véliplane III a été la suivante :

1974 - carénage de la poutre en forme d'aile d'avion afin de réduire sa traînée et de profiter de sa portance aérodynamique (4 ou 5 kg environ à 16 nœuds),

- adjonction de cloisons à l'extrémité inférieure des ailes, destinées à réduire les pertes marginales, (on dirait maintenant des winglets !)

- remplacement de la voilure initiale du "470" par une voilure plus importante (14,5 m²) et entièrement lattée (voilure type catamaran, voir photo ci-contre).



1975 - malgré la présence de cloisons d'extrados (on dit maintenant « fences ») sur les ailes marines, ainsi que d'un bord d'attaque tranchant, les phénomènes de ventilation persistent, au delà de 15 nœuds par mer agitée.

C'est pourquoi je fus amené à

concevoir et à réaliser dans le courant de l'année 1975 les ailes marines "en escalier" qui sont décrites au chapitre II - § 2-5-4. :



Le plan supérieur, d'une surface de 25 dm² environ, est pourvu d'un profil semi-lenticulaire à bord d'attaque tranchant. Il comporte en outre 2 cloisons d'extrados.

Le plan inférieur, d'une surface de 5,5 dm² environ, est pourvu d'un profil type "aviation" (CLARK Y ramené à 10 % d'épaisseur).

Ces deux plans, rigoureusement parallèles, sont calés à une incidence de 3°.

La surface totale des ailes avant est donc de 61 dm².

L'empennage en T inversé fut remplacé par un ensemble comportant 2 plans superposés

Le plan supérieur (6 dm²) est porté par un aileron vertical fixé directement sur la coque. Son profil est aussi un CLARK Y 10 %, calé à une incidence de + 3°.

Le plan inférieur (7 dm²) est fixé en bout de safran : il comprend 1 plan fixe calé à 0° et un volet de profondeur, commandé par câble Bowden. Il comporte

en outre 2 cloisons marginales qui servent en même temps de safran à grande vitesse.

Le safran est articulé sur la partie fixe, par l'intermédiaire d'un axe vertical qui permet en outre son relevage partiel et une réduction de moitié du tirant d'eau.

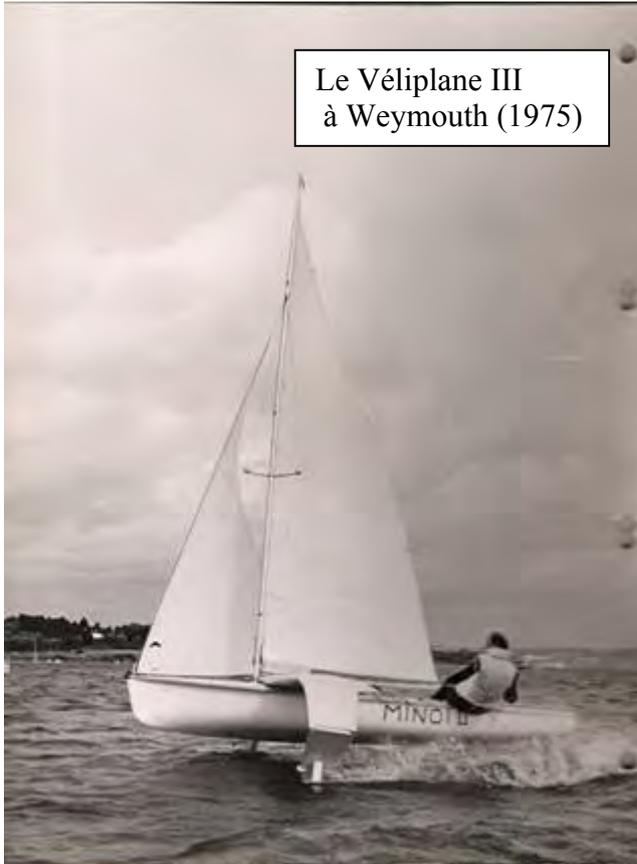
Tout cet ensemble fut testé durant l'été 1975 et donna toute satisfaction, en particulier par mer agitée: les phénomènes de ventilation sont pratiquement inexistants, quelque soit l'état de surface de la mer.

Il fut possible, par mer calme et vent de force 4, d'enregistrer au speedomètre de bord des vitesses de 22 à 23 nœuds. Par mer agitée (creux de 50 à 80 cm), il a été possible d'effectuer des parcours à plus de 15 nœuds : la sensation est alors fantastique car l'engin bondit littéralement de crête en crête, en pulvérisant des masses d'écume; il arrive même, dans les creux entre deux vagues, de quitter pratiquement tout contact avec l'eau ! Malgré tout, il ne se produit jamais les chocs brutaux que l'on peut observer avec une coque planante à moteur; la reprise de contact avec l'élément liquide se fait toujours avec une relative douceur. Bien entendu, la structure, quant à elle, est soumise à rude épreuve et les casses sont nombreuses.

C'est à ce moment-là que le pilotage de l'engin à l'aide du volet de profondeur arrière prend tout son intérêt car il permet de modifier constamment l'assiette du bateau, par exemple en le cabrant au passage d'une vague plus grosse qu'une autre.

C'est ainsi équipé que je pus me classer 7ème (sur 20 engagés) au championnat du monde de Vitesse 1975 à Weymouth (Angleterre) avec 3 parcours chronométrés à 15,9 nœuds (tous les 3, ce qui me paraît bizarre !).





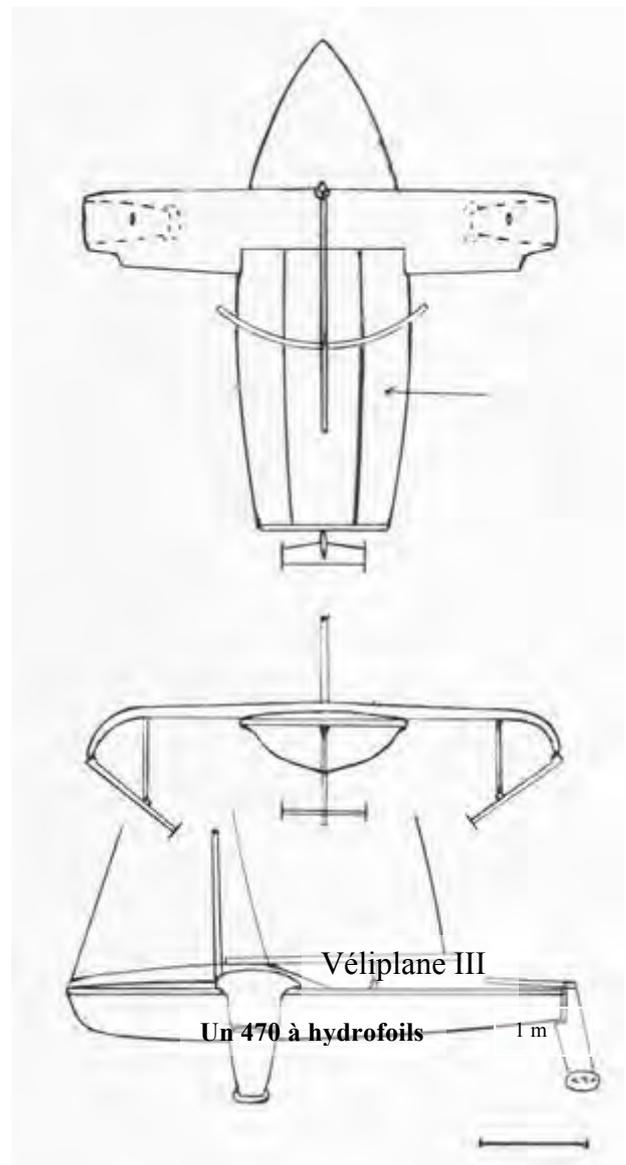
Le Véliplane III
à Weymouth (1975)

Cette performance, inférieure de 3,5 nœuds à celle de MAYFLY, pourtant moins "évolué" sur certains points, démontrait amplement le défaut n°1 du véliplane III : son poids excessif (156 kg au total sans barreur, contre seulement 100 kg pour MAYFLY). Cet excès de poids est d'ailleurs confirmé par une vitesse de décollage de l'ordre de 12 nœuds, contre 10 nœuds pour MAYFLY.

Ce poids excessif revenait essentiellement à la vieille coque de 470, qui pesait à elle seule plus de 100 kg, malgré la suppression de tous ses artifices inutiles y compris le puits de dérive !

C'est pourquoi, en Janvier 1976 commençait la construction du véliplane IV

Photo Alastair Black



5.- LE VELIPLANE IV -

C'est l'héritier direct du véliplane III, puisqu'il récupère l'ensemble des hydrofoils et du gréement de celui-ci, ainsi que l'essentiel de ses réglages (centrage - incidences, etc..).



Par contre, toute la partie "flotteur" est entièrement refaite, en revenant à la formule "Trimaran" du véliplane I :

- la coque centrale, réalisée en fibre de verre, a 4,80 m de long, 0,70 m de large. Elle pèse seulement 39 kg. Ceci porte la longueur H.T. du bateau à 5,20 m.

- la poutre est constituée de 2 tubes côte à côte en dural AU4G (quelle erreur : ce dural aviation s'est corrodé en quelques mois !), d'une longueur de 5 m. Elle porte

au bout 2 petits flotteurs de 1,70 m de long.

- Du fait de l'étroitesse de la coque, un châssis de rappel, fait de tubes de dural, permet au barreur de se mettre confortablement au rappel . Il soutient en même temps le grand rail d'écoute.

Tout cet ensemble, voilure comprise, ne pèse que 96 kg, soit 50 kg de moins que le véliplane III : (réalisé en 7 mois de loisirs)

La coque a été réalisée dans un moule en isorel, à bouchains très arrondis. Afin d'économiser un peu de poids, le gel-coat a été supprimé (encore une erreur !), ce qui donne à la coque une transparence inhabituelle (transparence qui permet au barreur de juger, par l'intérieur, du niveau d'immersion de la coque).

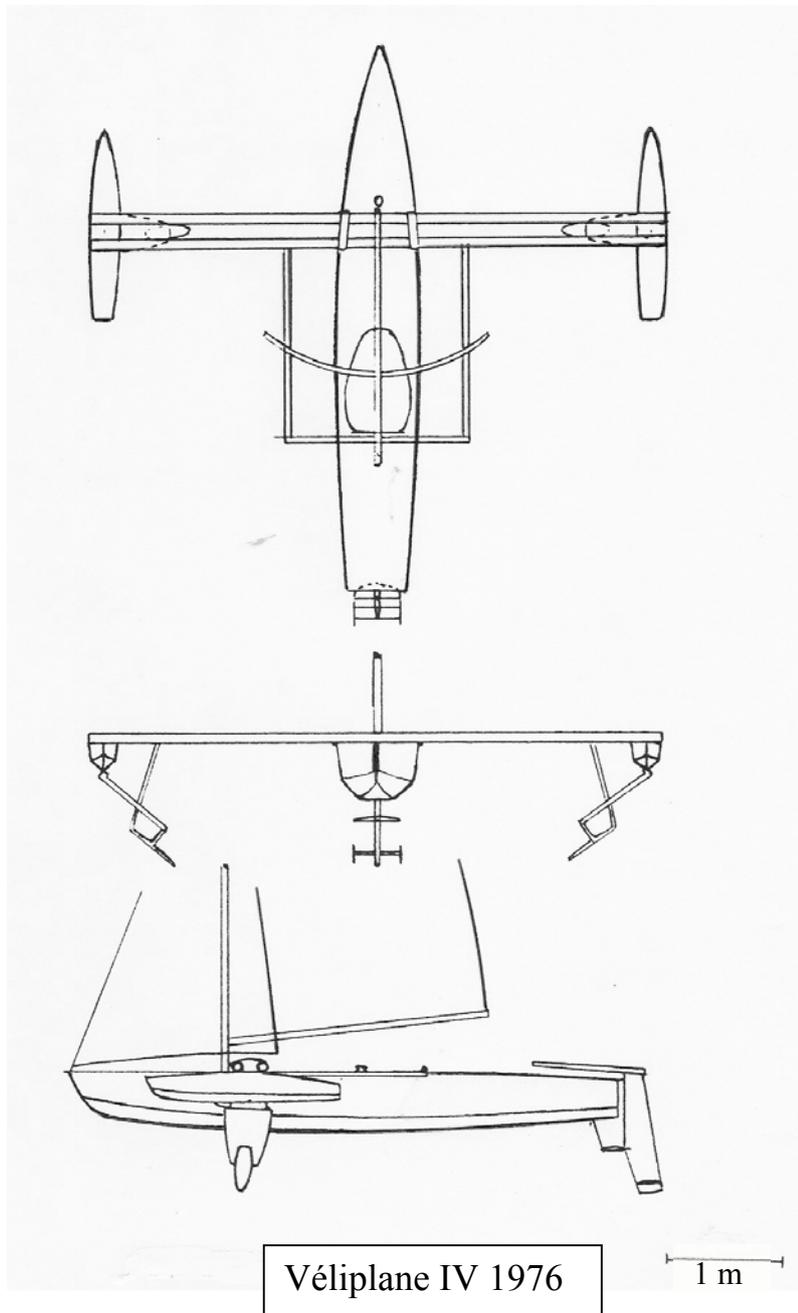
Cet engin, expérimenté en été 1976, paraît remarquablement performant :

Son décollage est obtenu à 10 nœuds , avec un vent nettement plus faible que celui nécessaire au véliplane III ; des pointes de vitesse de 21 nœuds ont été mesurées, avec vent de 15 nœuds.



Par ailleurs, la maniabilité, la stabilité sont encore améliorées par rapport au modèle précédent. Les flotteurs constituent

une marge de flottabilité très suffisante pour toutes les évolutions à basse vitesse. En fait, c'était un très bon bateau, trop vite abandonné...



Ultime évolution de la famille : le Véliplane IV à voiles rigides

Ayant à peu près réglé tous les problèmes inhérents à la coque et aux hydrofoils (au point que je considère encore de nos jours cet engin comme parfaitement viable, voire même plus perfectionné que bien des engins modernes à foils perçant la surface...que je ne nommerai pas !

Mais bien sûr, il me fallait bien trouver à m'occuper les mains et l'esprit...ce fut fait avec la conception, la réalisation et les essais d'une voilure rigide, solution idéale sur le plan théorique car seule vraiment compatible avec les grandes vitesses (voir chapitre spécial en fin de document).

Sur le plan de la conception, il fallait trouver une solution permettant d'inverser la courbure de la voile, afin de naviguer normalement sur les deux bords, et non sur un seul, comme ENSTA par exemple. Pour cela, la voile comprend deux parties : une partie avant (environ 2/3) qui assure la rigidité (la voile est évidemment cantilever, sans haubans, articulée sur un gros tube dural, en fait les chutes de la poutre transversale !); et une partie arrière, ou « volet de courbure » (environ 1/3), articulée sur la précédente. L'ensemble, qui pivote librement sur son axe, est commandé par une « écoute » fixée au volet arrière et qui

provoque automatiquement son basculement sur un bord ou sur l'autre...ça paraît tout simple, mais ce ne fut pas facile à mettre au point, malgré des essais en soufflerie préalables !



Bien entendu, il était hors de question de réaliser une voilure d'une seule pièce de 14 m²...bien que certains l'aient fait, mais ils n'avaient pas les mêmes contraintes d'utilisation que moi ! Il fallait donc diviser cette surface par 3 et réaliser trois voiles identiques disposées cote à cote, figurant comme une sorte de triplan, ce qui n'est possible que grâce à la largeur de l'engin.

La réalisation d'un tel système n'a rien d'évident, surtout compte tenu des contraintes de poids (35 kg au total), donc à peu près 10 kg par aile + 5 kg de

tubes supports). ...la mise au point fut encore pire !

Les premiers problèmes furent l'instabilité aérodynamique qui nécessita un déplacement du point d'articulation (une paille, quand on sait que tous les efforts passent par là !). Puis vinrent les problèmes de torsion de la poutre qui, soumise à la poussée des voiles externes se vrillait généreusement...en faisant plonger les foils ! Il me fallut donc

renforcer considérablement cette poutre et même pour finir la haubaner !



Une des rares sorties du Véliplane à voiles rigides

Enfin et surtout il y eut les problèmes d'utilisation car mettre en place et enlever, à chaque sortie, ces trois énormes panneaux, même légers, surtout avec du vent...c'est un véritable cauchemar...que je ne souhaite à personne...on atteint là les limites des possibilités humaines !

C'est ainsi que sonna le glas de cette longue période d'expérimentations, parfois si exaltante, souvent si

décevante !

CONCLUSIONS : L ' AVENIR DE LA FORMULE -

Sur le plan de la vitesse pure, les possibilités des hydrofoils à voile ne sont plus à démontrer. Des engins très modestes par leur taille et par leur prix ont largement dépassé les 30 nœuds . Des engins plus grands et plus évolués, dépassent largement les 40 nœuds (qu'on se souvienne que B. Smith titrait en 1963 « the 40-knots sailboat »...sans trop y croire, de même que je titrais en 1966 « 100 km/h à la voile ? »...nous y sommes presque, 40ans après !

Sans vouloir à tout prix s'attaquer aux "records", les petits voiliers à ailes marines sont réellement à la portée du plus grand nombre, par la construction amateur tout d'abord, par une commercialisation ensuite, bien que celle-ci n'ait pas été couronnée de succès jusqu'à présent (voir l'échec de TRIFOILER et de RAVE).

Les voiliers à ailes marines sont maintenant prêts à conquérir la Voile Sportive : ils ne seront bientôt plus des "oiseaux rares" réservés à quelques initiés et passionnés.

Sur le plan de la navigation de haute mer, il faut s'attendre, par contre, à des progrès beaucoup plus lents pour diverses raisons :

- les problèmes de cap tout d'abord, qui rendent très difficiles les courses "de près" à grande vitesse. Cependant, il sera toujours possible de faire un "près" très convenable, à vitesse "normale", c'est-à-dire sans planer, en ne conservant dans l'eau que l'aile sous le vent et en relevant l'autre.

- les problèmes de sécurité par grosse mer surtout: en effet, si ces voiliers naviguent encore très bien par mer formée de force 4 ou 5, il paraît très douteux de pouvoir continuer à planer à plus de 20 nœuds avec des creux de plusieurs mètres. Il faudra alors obligatoirement ralentir: qu'advient-il alors de ces structures arachnéennes dans les éléments déchaînés?

Cela demandera évidemment une longue et prudente expérimentation.

- enfin, il ne faut pas perdre de vue non plus, même par mer calme, les accidents qui peuvent être causés aux ailes marines par les corps flottants: il n'y a en effet aucune commune mesure entre heurter un "fût de 200 litres" avec l'étrave d'un "classe III" à 10 nœuds et avec une aile marine à 25 nœuds ! Il n'y a aucun espoir d'arriver jamais à réaliser une structure résistant à un pareil choc. Il est nettement préférable de rechercher des structures "effaçables", c'est-à-dire dont les ailes marines peuvent se replier vers l'arrière en cas de choc, avec un minimum de dégâts (rupture d'un câble par exemple).

Cependant, la perspective d'avenir qui paraît, et de loin, la plus passionnante réside justement dans les possibilités de recherches et d'améliorations innombrables qui sont contenues dans cette formule: les succès obtenus ne doivent pas faire oublier que l'on se trouve encore devant un terrain à peine débroussaillé, comparable à ce qu'était l'Aviation après les vols des pionniers.

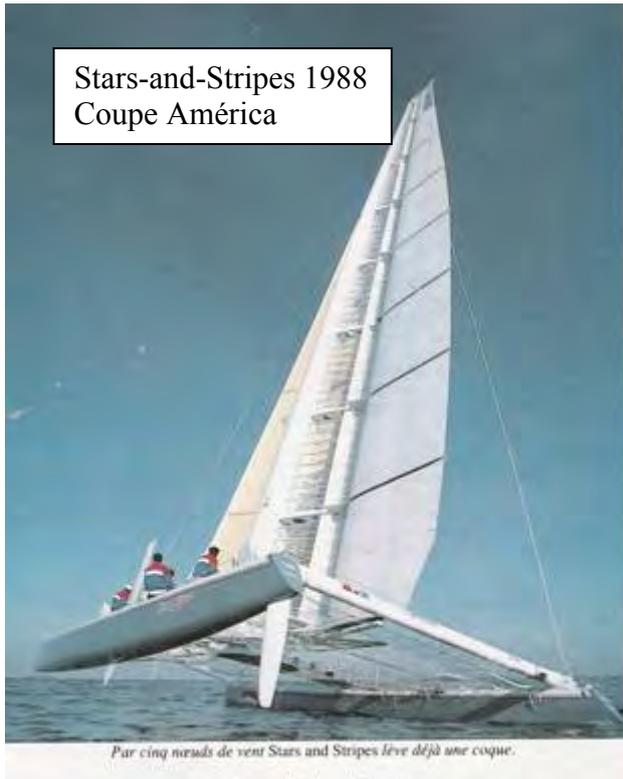
Les principales directions de recherches pourraient être les suivantes :

- lutte contre les phénomènes de ventilation sur les ailes perçant la surface.
- amélioration des profils d'ailes (recherche de la finesse maxi.).
- engins à ailes entièrement immergées à dispositifs de contrôle automatique de l'incidence
- amélioration du comportement par mauvaise mer.
- problèmes technologiques divers : poids - repliage des ailes avant et arrière, structure effaçable" en cas de choc, etc..
- voilure rigide : comme on le verra dans le chapitre suivant, le développement de la voile de vitesse ne pourra se faire sans le perfectionnement de la voilure et donc l'adoption de voiles rigides.

ADDENDA

UN « MOTEUR " MODERNE » SUR UN BATEAU MODERNE

Nous avons évoqué dans l'introduction que la "révolution" de la 2^{ème} moitié du 20^{ème} siècle concernait autant le bateau, avec l'apparition des ailes marines, que son "moteur" avec l'apparition des voiles rigides, type « aile d'avion ».



Ces voiles ont déjà été expérimentées avec succès sur de nombreux engins rapides et en particulier sur les voiliers à glace RUSSES qui évoluent, rappelons-le, 2 ou 3 fois plus vite que le vent ! En 1973, la "petite coupe AMERICA" (catamarans de classe C) a été remportée brillamment par Miss NYLEX, équipé d'une voile rigide : les vitesses atteintes par ce catamaran classique, sans hydrofoils, sont de l'ordre de 30 nœuds ; En 1988 Stars-and-Stripes écrasait son concurrent de la Coupe América avec un catamaran à voile rigide

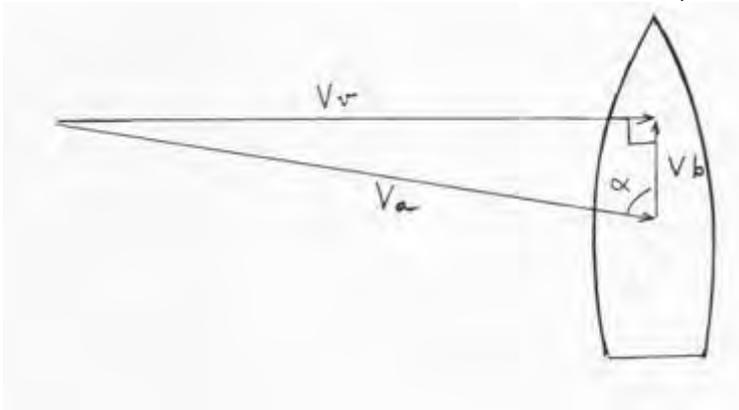
Le palmarès des voiles rigides est donc très honorable et la supériorité de cette formule sur la voile classique ne fait déjà plus aucun doute.

Essayons maintenant de comprendre les raisons de cette supériorité.

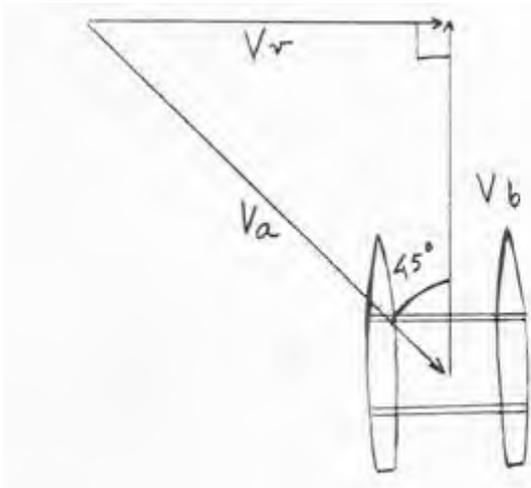
Notion de vent apparent -



Cette notion est toujours importante, quelque soit le type de voilier. Elle devient primordiale dans le cas d'un voilier à haut rendement, dont la vitesse relative (vitesse bateau/vitesse du vent) peut être supérieure à 1 : c'est le cas en particulier des voiliers à ailes marines et des meilleurs multicoques qui peuvent aller nettement plus vite que le vent qui les propulse (ex. CROSSBOW : 31 nœuds avec 20-22 nœuds de vent).



Considérons le cas d'un bateau classique, lent, naviguant par vent de travers V_v avec une vitesse V_b . Ces 2 vitesses se composent pour donner un vent apparent V_a , plus important que V_v et faisant avec l'axe du bateau un angle α inférieur à 90° . Il n'y a pas, cependant, de différence fondamentale entre V_a et V_v .



Dans le cas d'un bateau rapide, ayant une vitesse relative de 1 (vitesse du bateau = vitesse du vent), la décomposition des vitesses est alors celle-ci : On voit que le vent apparent V_a est alors beaucoup plus fort que V_v et surtout qu'il est orienté beaucoup plus près de l'axe du bateau (45° dans ce cas de figure).

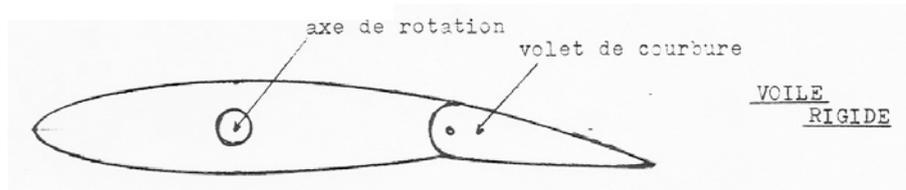
On comprend ainsi qu'un bateau rapide puisse se trouver réglé "au près" alors qu'il navigue plein vent de travers : on dit alors qu'il tire des "bords carrés" car il devient incapable de remonter au vent (sauf s'il accepte de réduire sa

vitesse). Il peut même arriver, si la vitesse relative du bateau est très élevée (1,5 par exemple) qu'il ne puisse conserver cette vitesse sans descendre sous le vent !

Cette incompatibilité fondamentale entre cap et vitesse constitue sans aucun doute un handicap majeur pour les bateaux rapides et notamment pour les bateaux à hydrofoils.

Il existe cependant un moyen de lutter contre cet inconvénient : **l'adoption d'une voile à haut rendement**, qui ne peut être, en fin de compte, qu'une voile rigide.

Qu'est-ce qu'une voile rigide?



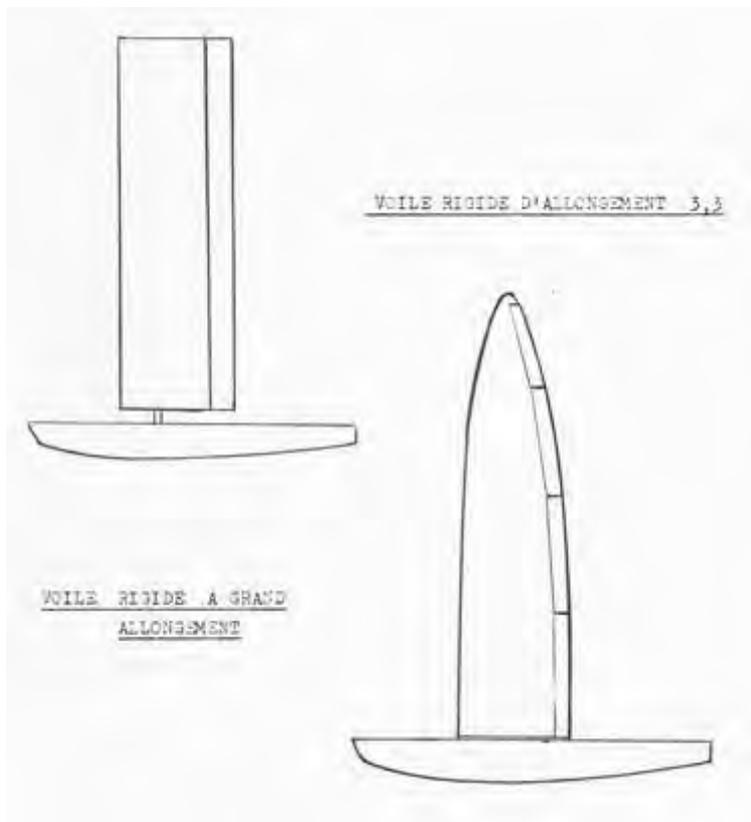
une voile rigide est une aile d'avion placée verticalement. Mais la nécessité, pour une voile, de pouvoir fonctionner sur les 2 bords, impose de réaliser un profil symétrique pourvu d'un « voilet de courbure », qui en basculant, permet d'inverser le profil, d'un bord à l'autre. Il s'en suit que le rendement de cette aile est légèrement inférieur à celui d'une véritable aile d'avion dont le profil est entièrement dissymétrique.



Comparaison d'une voile classique et d'une voile rigide

(revoir à ce sujet les notions du chapitre II)

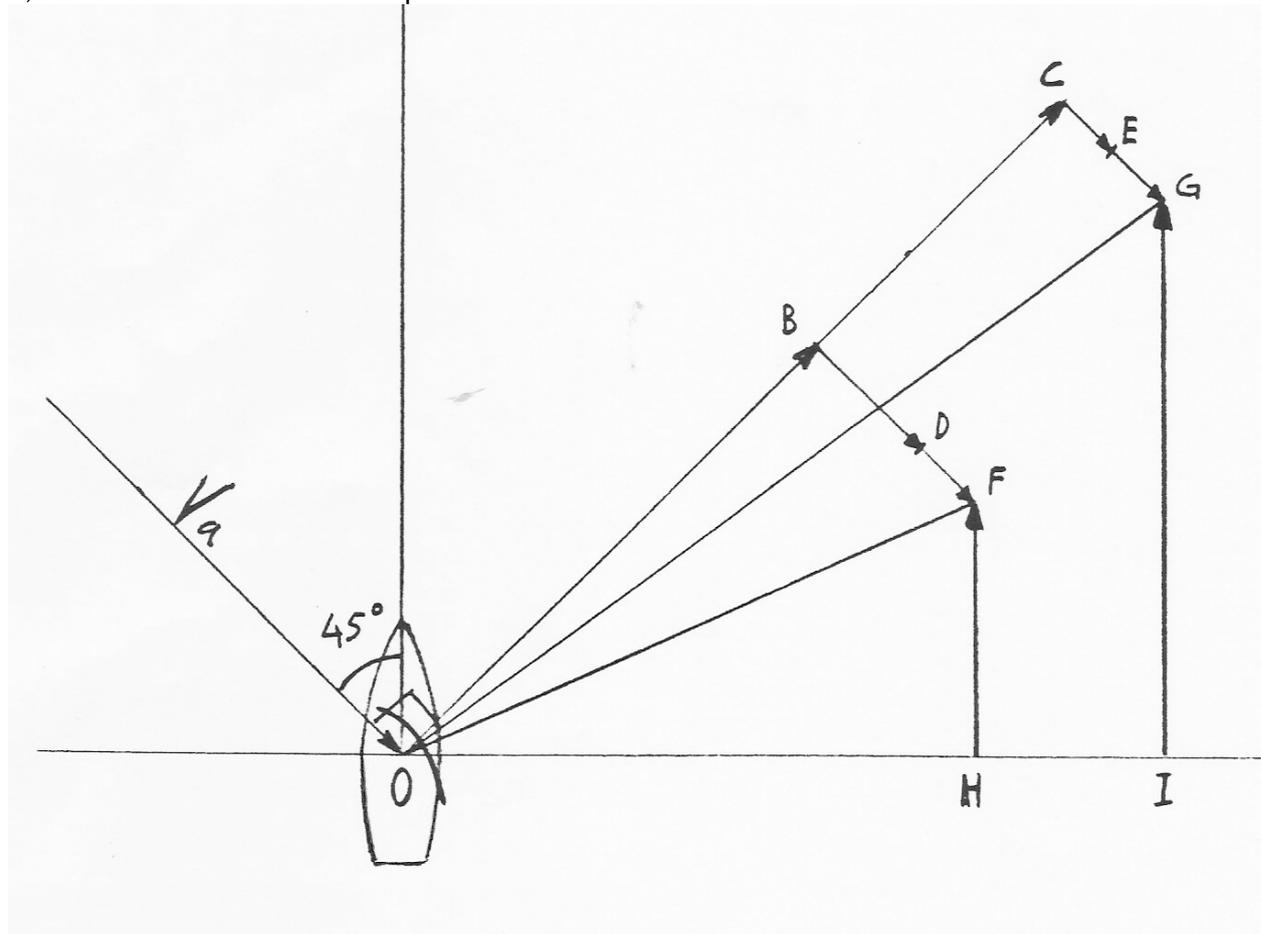
la 1^{ère} différence réside dans la finesse de ces voiles, ou rapport Portance/ Traînée. Une voile classique, compte tenu de tous ses éléments parasites (mât, haubans, dévers, etc..) ne dépasse pas 4 ou 5 de finesse (voir les expériences du Dr. MANFRED CURRY).



Une voile rigide avec volet de courbure, de forme rectangulaire et d'allongement 3,3, a une finesse de l'ordre de 15. De plus, sa portance unitaire est supérieure d'environ 60 % par rapport à la voile classique.

Il serait possible, en réalisant une voile plus allongée et à bouts elliptiques, d'obtenir une finesse très supérieure, de l'ordre de 25 par exemple.

La figure ci-dessous représente, sur le même diagramme, l'effet d'un même vent apparent V_a sur une voile classique de finesse 4 et sur une voile rigide de finesse 15 et de portance 1,6 fois celle de la voile classique.

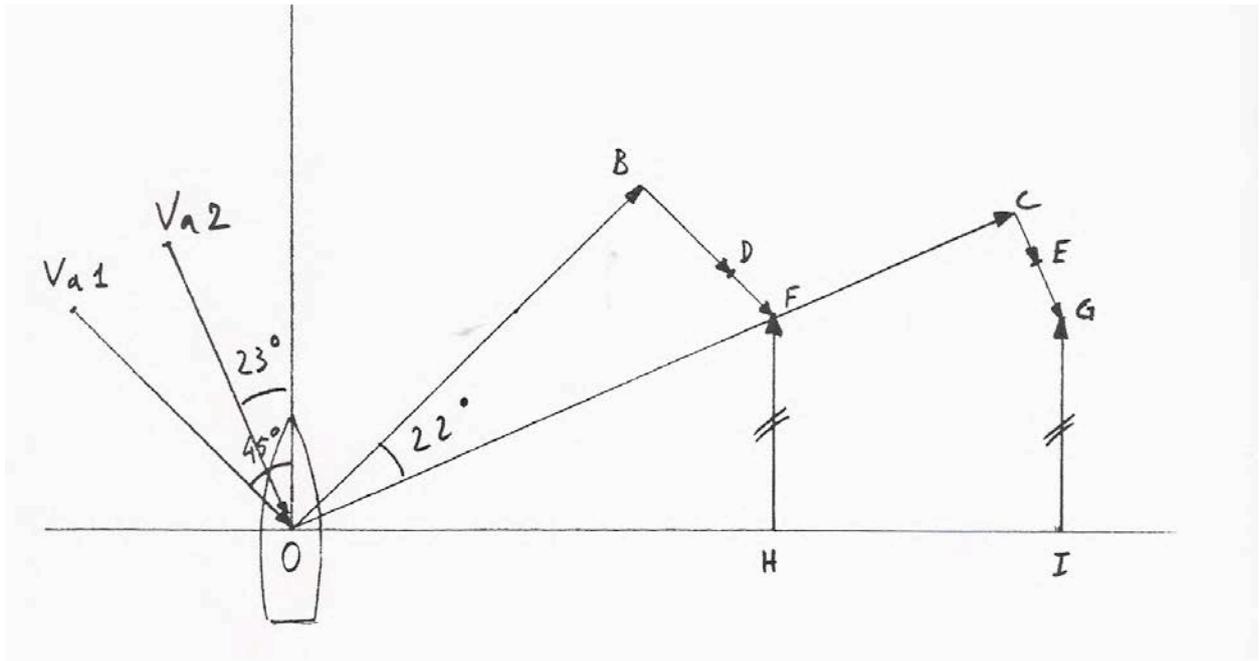


- **Voile classique** : portance OB perpendiculaire à V_a - Traînée $BD = OB/4$ à laquelle s'ajoute la traînée DF occasionnée par l'ensemble du bateau (fardage). La résultante de ces 2 forces est le vecteur OF dont la composante FH représente la **force propulsive de la voile**.

- **Voile rigide** : portance $OC = 1,6 OB$ - Traînée $CE = OC/15$ à laquelle s'ajoute $EG=DF$ (fardage). La résultante OG a une composante propulsive GI qui est double de la composante FH de la voile classique.

On voit donc, d'après ce qui précède, que la force propulsive d'une voile rigide peut être double de celle d'une voile classique de même surface.

Dans la pratique, cela permet surtout, à force propulsive égale, d'accepter des vents apparents beaucoup plus proches de l'axe du bateau.



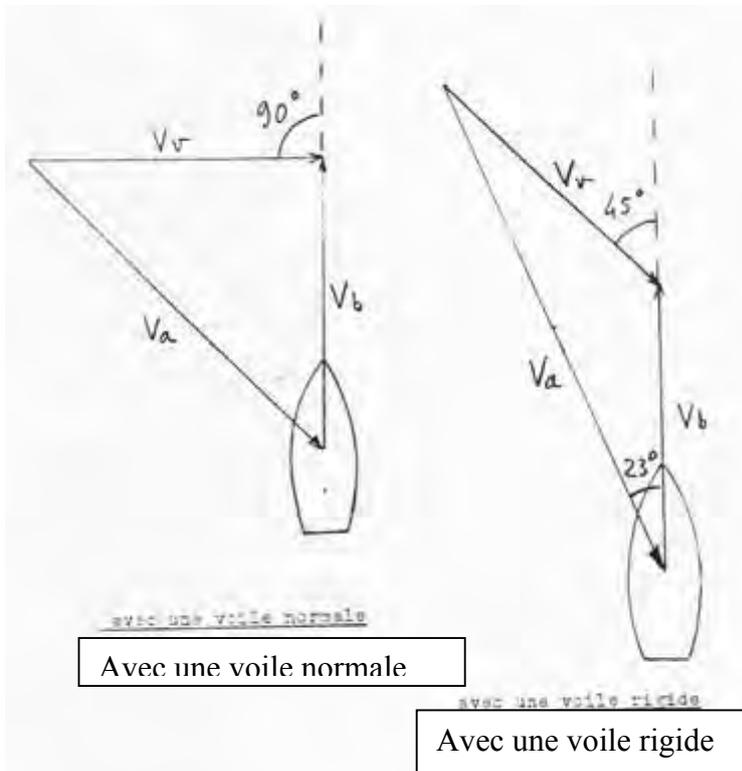
Dans la figure ci-dessus on a :

FH (force propulsive d'une voile normale) = GI (force propulsive d'une voile rigide).

Dans ce cas, le vecteur OC (portance de la voile rigide) fait avec le vecteur OB (portance de la voile classique) un angle de 22° . Il s'en suit que le vent apparent de la voile rigide pourra se situer à 23° de l'axe du bateau, contre 45° pour la voile classique.

Un tel avantage est particulièrement important pour un voilier rapide :

Soit un bateau ayant une vitesse relative de 1 :



- avec une voile ordinaire, il ne pourra pratiquement pas remonter au vent car son vent apparent est à 45° de l'axe, ce qui est presque la limite pour une telle voile (on dit qu'il « tire des bords carrés »)

- avec une voile rigide, il pourra accepter un vent apparent de 23° , en gardant la même force propulsive: il remonte, dans ce cas à 45° du vent réel !

Avec une voile normale

Avec une voile rigide

De plus, on observe sur ces 2 figures que le vent apparent du bateau à voile rigide est beaucoup plus fort que celui du bateau à voile classique : ce bateau "fabrique" son vent lui même !

Il s'en suit qu'en fait la force propulsive du bateau à voile rigide est fortement accrue, même avec un très petit angle de vent apparent.

Pratique de la voile rigide :

Il est bien certain qu'une voile rigide sérieuse doit comporter un dispositif qui permet de renverser sa courbure. Un profil symétrique ne présenterait pas des caractéristiques aérodynamiques suffisantes. Le volet de courbure ou tout autre dispositif similaire est donc indispensable, ce qui complique la réalisation d'une telle voile.

Par ailleurs, les haubans doivent être évités à tout prix, pour des raisons aérodynamiques d'abord, de sécurité ensuite (voir plus loin). Il convient donc de donner à ces voiles une structure cantilever : ceci est grandement facilité, dans ce cas, par l'épaisseur relativement importante de cette voile. Son pivot pourra facilement être un très gros tube qui se logera sans difficulté dans l'épaisseur de la voile.

Mais, après les éloges que l'on peut décerner à cette voilure, il faut tout de même aborder son inconvénient majeur... elle ne se range pas dans un sac à voile! Les problèmes de repliage d'une telle voilure sont pratiquement insolubles. Une voilure de 15 ou 20 m², d'une seule pièce, est un véritable "monument" très difficile à manipuler, à transporter et à stocker.



Il faut noter cependant qu'une telle voilure, laissée libre dans le lit du vent, comme une girouette, présente un fardage à peine supérieur à celui d'un gréement classique sans voiles (mât et haubans seuls). Il est donc parfaitement admissible de conserver cette voilure au mouillage ou dans la tempête, sous réserve qu'elle soit absolument libre et qu'elle puisse tourner dans tous les sens : il est donc impossible de conserver des haubans qui auraient pour effet de limiter le débattement de la voile.

Yellow page Endeavour
(ex-record du Monde de vitesse
46,52 nœuds, battu par :

