

PRÉSENTATION2			
LE MOT DE L'AUTEUR4			
	LE BATEAU BOIS5Introduction au bateau bois6Les bois utilisés en construction navale9Techniques traditionnelles et modernes11		
2	LA CONSTRUCTION TRADITIONNELLE15Le chantier de construction16Le tracé.17Débit du bois.25Apport des techniques modernes.28Liaisons métalliques, chevillage.29Charpente axiale.30Motorisation.36Lest des voiliers.38Gouvernail.40Dérive et puits de dérive.43Membrures découpées.45Membrures ployées.48Membrures lamellées-collées.51Bordé à franc-bord.53Calfatage.58Bordé à clin.60Construction des plates, doris, bettes.62Les bateaux creux.64Les bateaux pontés.67Échantillonnages de coque.73		
	LES TECHNIQUES MODERNESDE CONSTRUCTION78Présentation.79Systèmes époxys.80Imprégnation époxy.82Collage époxy.82Joints-congé époxy.83Stratification époxy.84Ancrages époxy.87Les alternatives aux époxys.87Le contreplaqué marine.89Bordé en petites lattes.92		

	Bordé à clin de contreplaqué	95
	Construction cousue-stratifiée	97
	Bordé en bois moulé	100
	Construction en contreplaqué sur lisses	102
	Échantillonnages en construction moderne	
481		
4	PEINTURES ET VERNIS	104
5	LES VOILIERS : MÂTS ET ESPARS	109
	Les gréements	110
	Mâts et espars	
6	CONSTRUIRE MESKER	441
	Le choix du bateau	
	L'outillage nécessaire	
	Les matériaux	
	Les membrures	
	Le tableau	
	L'étrave	
	Le chantier	
	La sole	
	Pose du bordé	
	Finitions extérieures de la coque	
	Retournement	
	Plat-bord, liston, courbe d'étambot	
	Puits de dérive et dérive	
	Structure intérieure	
	Gouvernail	
	Gréement	134
	Avirons et godille	
	Moteur hors-bord	
	Peinture et vernis	
	Remorque routière	
	Construction en contreplaqué	140
7	SÉCURITÉ ET RÉGLEMENTATION	146
ĶER	RISPER, UN CANOT	
A M	OTEUR EN COUSU-STRATIFIÉ	155
IND	EX AVEC TRADUCTION EN ANGLAIS	157
CAR	NET D'ADRESSES	158





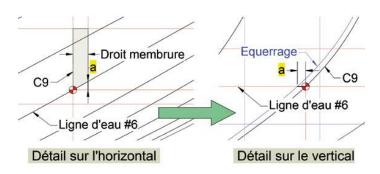








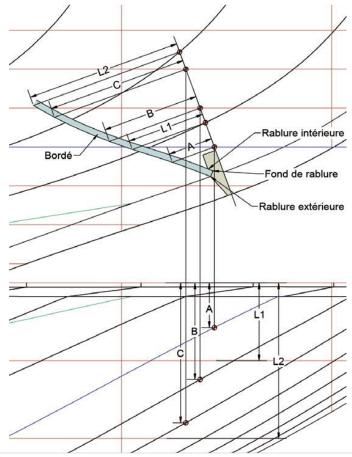




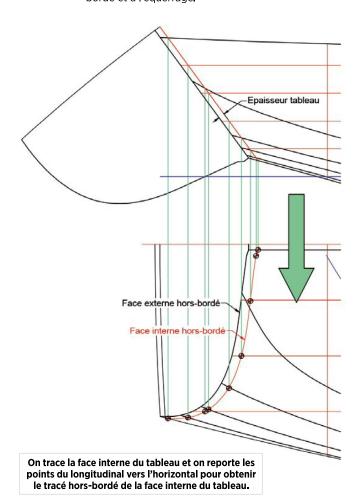
Si on part d'un plan de forme hors-membre, ou que l'on a soi-même fait une déduction de bordé simplifiée, on peut définir plus simplement l'équerrage des membrures. La figure montre le tracé sur une ligne d'eau, mais on peut appliquer la même méthode sur une longitudinale.

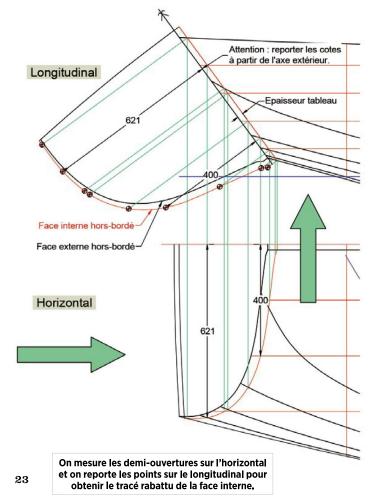
La râblure se définit le long de la quille, quand elle est à peu près horizontale, sur le vertical une fois la déduction d'épaisseur de bordé faite. Dans les autres zones, en particulier celle du brion où elle varie beaucoup, on travaille à nouveau par rabattement comme montré sur la figure ci-contre.

Le tracé du tableau (que l'on suppose plan, sinon c'est une autre histoire!) se fait en plusieurs étapes. Je présente ici la méthode de Bernard Ficatier. D'abord, on trace la face interne du tableau. Ensuite on passe à la déduction d'épaisseur de bordé et à l'équerrage.



Construction du profil de râblure, ici dans les formes avant, au voisinage du brion.





La largeur des membrures, qu'on appelle le « tour » est au contraire variable, plus élevée dans les fonds et plus faible dans les hauts pour gagner du poids. L'espacement longitudinal des membrures, d'axe à axe, est dit maille. Elle est de l'ordre de 30 cm, c'est-à-dire traditionnellement un pied, pour les bateaux bordés à franc-bord.



À l'avant, on est souvent amené à monter des membrures dévoyées de façon à être dans un plan à peu près perpendiculaire au bordé.



Un autre bateau après pose du bordé. Remarquez que les varangues sont sur l'avant des couples dans la moitié arrière du bateau et sur l'arrière des couples dans la moitié avant. La transition est au premier plan. C'est la pratique courante.



Il est important de laisser l'eau circuler dans les fonds pour éviter des stagnations. À chaque couple on prévoit des passages dits « anguilliers ».

À partir du tracé du bateau, on découpe des gabarits en contreplaqué léger sur lesquels on note le numéro de membrure et, de place en place, l'équerrage. Cela permet de choisir la pièce de bois tors qui convient et de la découper. On utilise à nouveau le tracé pour positionner et fixer entre elles les pièces constituant un couple.



La scie à ruban inclinable est l'outil quasi indispensable pour découper les membrures franches comme d'autres pièces, ici un tableau. Autrefois on utilisait une scie à chantourner, ayant une lame de faible largeur.

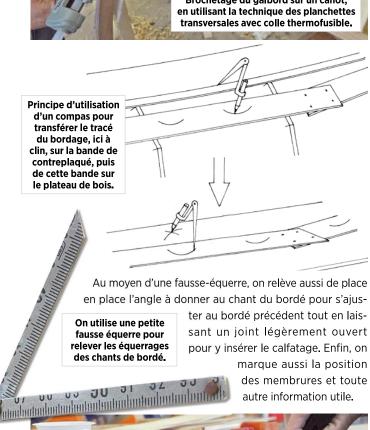


Un bel ensemble de membrures découpées.



le place sur le tracé du chanfrein. Inversement, les planchettes sont bien adaptées au cas du bordé à franc-bord car le compas ne peut alors être utilisé qu'au droit de chaque membrure.





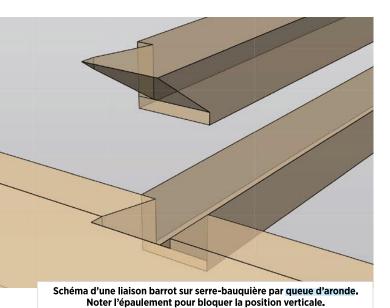






On enlève ce montage que l'on pose sur le plateau choisi pour y découper le bordage avec le « gras » éventuel pour l'équerrage. On fait une opération inverse pour reporter les contours et on les trace au moyen d'une latte souple. Tout cela doit être fait avec beaucoup de soin.









le plat-bord, ceinture qui recouvre la serre-bauquière et la préceinte.

dans cette zone et aux extrémités avant et arrière des grandes ouvertures



Le plat-bord suit la courbure du bordé et doit toujours être constitué de plusieurs éléments avec des « écarts à dent ».



Les barrots renforcés sont souvent reliés aux membrures correspondantes par des courbes verticales, ici en lamellé-collé, pour constituer des anneaux rigides.



Le métal forgé était très utilisé pour les courbes verticales. Les barrots renforcés doivent être positionnés en fonction des membrures.

permettent un tour assez élevé. Le rapport « droit sur tour » est en général entre 1,2 et 1,4. Les extrêmes constatés sont de 1 et 1,8. En effet, pour pouvoir être ployée, le tour de la membrure est nécessairement assez faible.

L'utilisation de membrures ployées donne une structure moins résistante que les membrures franches et surtout lamellées-collées. Il n'est pas rare de voir des membrures cassées sur des bateaux anciens. Pour les voiliers lestés il est recommandé d'avoir recours à des renforcements complémentaires : membrures renforcées (en pratique franches ou lamellées) au minimum autour du mât, cloisons transversales (en pratique en contreplaqué), varanguage serré dans la zone de lest, lisses à l'intérieur des membrures...

### Les varangues

Pour les bateaux non lestés à membrures franches, il est courant d'avoir des varangues de même droit que les membrures, sinon d'avoir 10 mm de plus. Dans le cas de voiliers lestés, on ajoute au moins le diamètre des boulons de quille. Le droit des varangues doit faire au moins 4 fois le diamètre des boulons. Les varangues sont normalement en chêne.

Le tour à l'axe du bateau (on dit l'encolure) fait au minimum deux fois le droit, plus si c'est possible, en particulier pour les bateaux de travail. L'étendue transversale des varangues est d'environ le tiers de la largeur du bateau, pouvant être réduite aux extrémités du bateau.

Avec des membrures ployées, on conservera le même échantillonnage, avec une varangue toutes les deux membrures, plus en cas de lest.

### Le bordé

Pour les bateaux construits sur membrures franches, l'épaisseur du bordé est donné par la formule suivante :

#### $e = 2 \times L + 7 mm (L en mètres)$

Là encore, on peut augmenter de 15 % pour des bateaux de travail et réduire de 15 % pour des yachts, surtout s'il s'agit de bateaux de régate. Le galbord est souvent plus fort, son épaisseur étant 1,25 fois celle des bordés ordinaires. L'épaisseur de la préceinte est encore plus forte, autour de 1,4 fois celle des bordés ordinaires. Si le bordé est à clin, l'épaisseur peut être indépendamment réduite de 10 %. Le galbord conserve alors la même épaisseur que les bordés ordinaires. La préceinte peut être un peu plus épaisse. Les épaisseurs indiquées sont pour un bois de densité autour de 0.6. On peut corriger en proportion de la densité du bois, la résistance du bois étant, en première approximation, proportionnelle à la densité.

Si le bateau est bordé à clin sur des membrures ployées, ce qui concerne surtout des embarcations ouvertes et légères, l'épaisseur du bordé est plus faible, donnée par la formule suivante pour des bateaux de moins de 8 m :

#### $e = 1,5 \times L + 3 mm (L en mètres)$

On ne descend pas en dessous d'une épaisseur de 8 mm, qui suppose déjà un bois de très belle qualité. Les bateaux d'aviron pur de compétition peuvent avoir des échantillonnages plus faibles. Par exemple le bordé des gigs des îles Scilly (près de 10 m de longueur, pour 1,5 m de largeur) ne ferait que 8 mm!

## Les serres, plat-bord, listons

Je donne ici quelques valeurs statistiques pouvant servir de référence. Les dispositions, comme les valeurs, peuvent différer fortement d'un bateau à l'autre. Les épaisseurs indiquées sont pour un bois de densité autour de 0,6.

Serres de bouchain (membrures franches) : épaisseur = 1,3 fois l'épaisseur de bordé, largeur = 4 fois l'épaisseur, réduite aux extrémités

**Serre-bauquière** (membrures franches, bateau ponté) : épaisseur = 1,5 fois l'épaisseur de bordé, largeur = 5 fois l'épaisseur, réduite aux extrémités.

**Serre des bancs** (bordé à clin sur membrures ployées) : épaisseur = 1,6 fois l'épaisseur de bordé, largeur 3 fois l'épaisseur, réduite aux extrémités. Vérifier que l'on peut visser les bancs.

**Serre de plat-bord** (bateaux creux bordés à clin sur membrures ployées) : épaisseur = 1,8 fois l'épaisseur de bordé, largeur = 2 fois l'épaisseur.

**Liston** (bateaux creux bordés à clin sur membrures ployées) : épaisseur = 1,8 fois l'épaisseur de bordé, largeur = 1,6 fois l'épaisseur.

# Le barrotage

La maille (espacement des barrots) est données par la formule suivante :

 $m = 75 \times B + 115 \text{ mm (B en mètres)}$ 

Le droit des barrots est le suivant :

 $d = 12,5 \times B + 12 \text{ mm (B en mètres)}$ 

L'épaisseur indiquée est pour du chêne. Les autres échantillonnages se définissent comme suit :

- lacktriangle le tour à l'axe du bateau est 1,5 fois le droit ;
- le tour en abord est 0,7 fois le tour à l'axe ;
- le droit des barrotins et des barrots aux extrémités avant et arrière du bateau est 0,85 fois le droit ;
- le tour des barrotins est 1,25 fois le droit des barrotins ;
- le droit des barrots renforcés est 1,3 fois le droit courant donné par la formule ;
- le tour des barrots renforcés est 1,25 fois le droit de ces barrots :
- les barrots renforcés sont ceux autour du mât, de la bitte, des extrémités du rouf, cockpit, écoutilles.





Il est conseillé d'utiliser un tissu d'arrachage pour simplifier le travail de finition et de ponçage après stratification, surtout si on traite une surface importante (tout le bordé par exemple). C'est un tissu vendu spécifiquement pour cet usage que l'on applique au-dessus de toutes les couches de résine. Après durcissement de la résine, il ne reste plus qu'à l'arracher.













Parlons d'abord des bateaux en construction bois classique. On utilise une peinture qui laisse respirer le bois, dite microporeuse, en appliquant d'abord un primaire d'impression qui pénètre dans le bois, puis des couches de finitions. Ces peintures sont de type glycérophtalique, version modernisée des peintures à l'huile d'autrefois. L'application se fait plutôt à la brosse mais il est possible, selon les produits et conditions d'application, d'utiliser rouleau et pad.

On peut peindre à deux : l'un applique la peinture au rouleau, l'autre lisse avec un pad en mousse ou une brosse de très belle qualité.



Cette hiloire de rouf vernie a vieilli : on voit le « grisement » sous le vernis, un écart de teintes perceptible quand on a mis localement le bois à nu. Notez la dégradation sur le joint avec le pont, visible en bas à droite : il faut des joints parfaits où l'eau ne peut stagner. Je rassure : après mise à nu, cette hiloire est maintenant parfaite. Vive le bois!

Attention: dans

On commence par assembler les trois planches à plat. Elles sont bouvetées, avec insertion de mastic Ettan et d'un coton à calfater (de 1,5 mm environ). L'Ettan est un produit traditionnel suédois à base de goudron de pin et de cire, très collant y compris en milieu humide. Laissez environ 1 mm de jeu en fond de rainure. Autrefois, on aurait simplement juxtaposé les planches ensuite calfatées.



Lors de la mise en place, on visse solidement dans les varangues tout en serrant la sole dans le sens transversal, pour bien serrer les joints. Les trous de vis sont fraisés et les têtes de vis, en retrait de la surface, sont mastiquées.

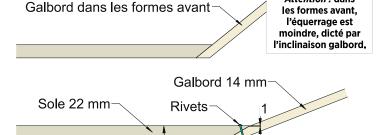




**Remarque :** on a tout intérêt à tracer la découpe pour la dérive et à réaliser cette découpe sur l'établi <u>avant</u> la pose définitive de la sole.



La sole est équerrée sur sa périphérie avec un angle constant de 30° environ, sauf dans la zone avant où l'équerrage est moindre (voir figure ci-dessous).



Notez que le puits de dérive vient s'insérer entre deux couples. Assurez-vous, lors de la pose de la sole, que l'espacement de ces couples est bien identique à la longueur du puits.

30°



Maintenant, comment répartir cette flottabilité dans le bateau ? Les volumes de flottabilité doivent permettre d'abord de redresser un bateau totalement chaviré, mât vers le bas, puis, après redressement, de donner au bateau partiellement rempli d'eau une stabilité suffisante pour que l'équipage puisse progressivement monter à bord et vider. Pour redresser le bateau, il faut que, retourné, il ne soit pas trop stable. On voit donc qu'il y a des exigences contradictoires : un bateau facile à redresser risque d'être insuffisamment stable à l'endroit et inversement, Pour rendre stable un bateau envahi (plein d'eau), il faut des volumes de flottabilité placés latéralement, surtout s'il est léger (figure 2). Ces volumes latéraux ont tout de même l'avantage de limiter la quantité d'eau à vider après redressement. À contrario, la figure 3 montre la difficulté à redresser quand il y a des grands caissons latéraux. Sur les bateaux lourds, il faut donc que la flottabilité soit plutôt à l'axe du bateau et assez haute (suivant figure 1). La distinction entre voiliers légers (disons moins de 150 kg) et lourds (plus de 300 kg) est très importante. Entre ces deux valeurs, tout dépend des autres caractéristiques du bateau.

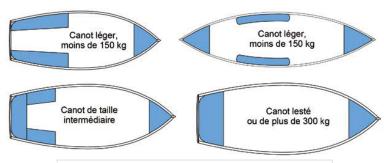
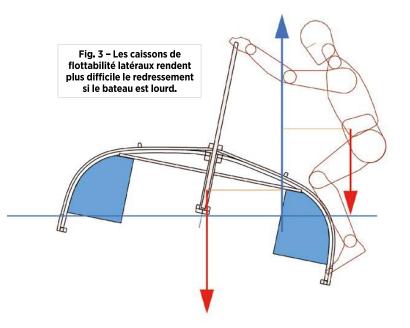


Fig. 2 - Répartition transversale des volumes de flottabilité.



Enfin, voici quelques remarques complémentaires pour tenter de couvrir la multitude de configurations possibles :

- Il est souhaitable de pouvoir redresser seul. À défaut, cela rend la navigation en solitaire dangereuse. La norme 12217 précise que le nombre d'équipiers nécessaires au redressement doit être noté dans le manuel du propriétaire (manuel non requis pour une construction amateur).
- Pour un bateau lourd, il faut faire en sorte que le bateau reste couché à 90°, voiles à la surface de l'eau. Alors la norme ne demande pas de démontrer qu'on peut redresser le bateau totalement retourné. Pour y parvenir, on adopte un lest extérieur ou une dérive lourde qu'on peut verrouiller en position basse. On installe aussi la flottabilité le plus haut possible dans le bateau (donc plutôt aux extrémités pour profiter de la tonture), en plus d'adopter un mât creux...
- Attention aux cockpits auto-videurs. Si l'on n'y prend pas garde, cela crée un espace étanche dans le fond du bateau, aux effets très négatifs pour la sécurité en cas de chavirage. Pour y remédier, on peut adopter un ballast liquide sous le plancher, ou placer des tubes ayant pour effet d'envahir les fonds lors d'un chavirage... Mais on apporte alors de la complexité.
- Une dérive lourde a en général très peu d'intérêt pour les performances sous voile d'un bateau creux... limité par définition en angle de gîte. Par contre, elle favorise le redressement, à condition qu'elle soit verrouillable en position basse ou qu'il y ait une prise pour la ressortir.

### Les caissons de flottabilité

Pour satisfaire aux exigences de flottabilité, on dispose de diverses solutions.

La première, applicable à des constructions traditionnelles ou modernes, est de créer des compartiments non étanches délimités par des cloisons et fermés par des planchers ou pontés. C'est ce que nous faisons sur le Mesker. Ces compartiments sont remplis de mousse de flottabilité à cellules fermées. On prévoit alors des drains en partie basse et d'éventuelles prises d'air en partie haute. Les plaques de polystyrène extrudé dont on se sert pour isoler les combles d'une maison (leur densité est de 25 à 35 kg/m<sup>3</sup>) conviennent très bien comme remplissage. Attention toutefois à ne pas utiliser de polystyrène sur une coque en polyester. Il serait dégradé par les solvants employés. Il faut alors employer de la mousse de polyéthylène. Par ailleurs, sur un bateau en bois classique, il faut prendre garde, si on ajoute des caissons, à ne pas empêcher l'air de circuler car ce serait gage de pourritures. Il est donc préférable de pouvoir visiter les compartiments en dévissant le couvercle.

Il est aussi possible d'ajouter de la flottabilité sans construire de caissons, par exemple en utilisant des volumes gonflables comme ceux – certes un peu petits – dont sont dotés les