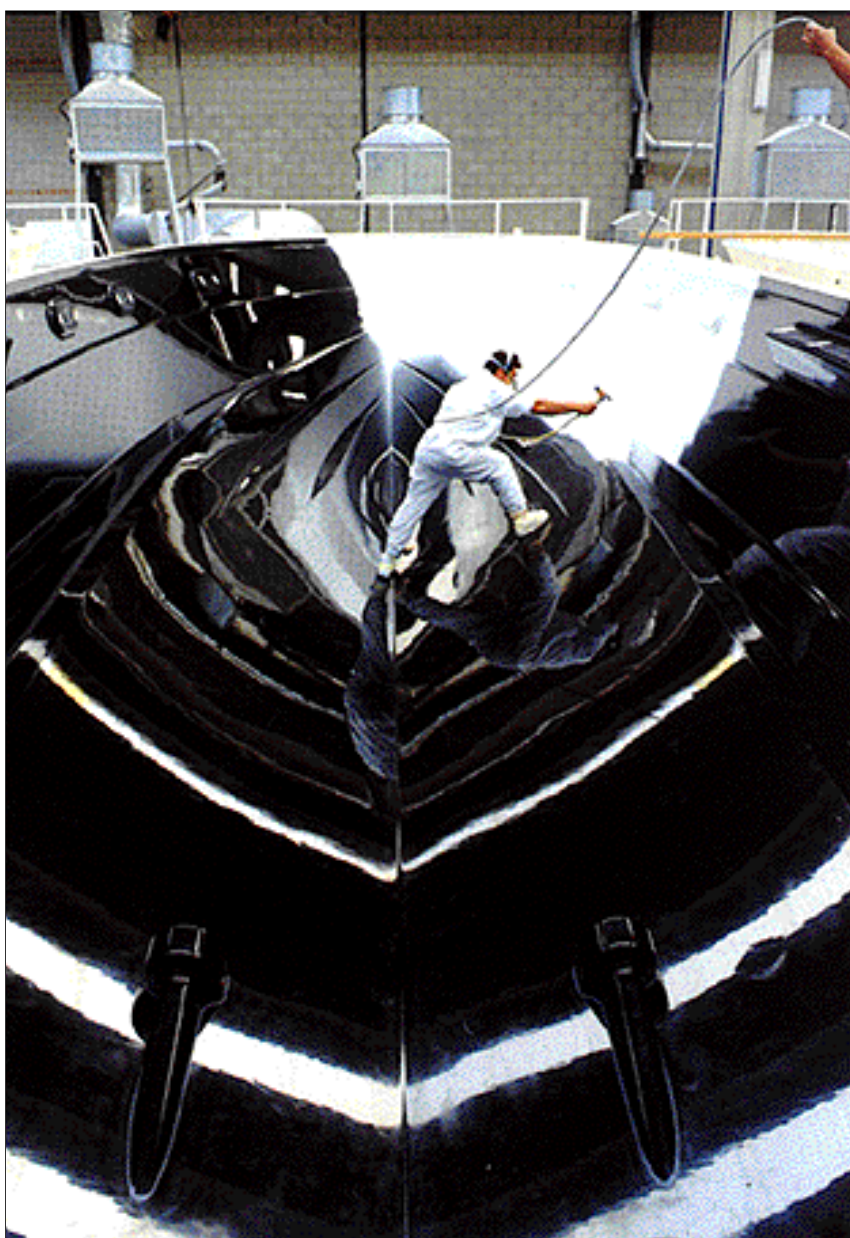


# LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

*Le choix du matériau de construction est l'objet permanent de débats passionnés entre les propriétaires, les architectes, les constructeurs et les courtiers. Les différentes solutions mixtes et les nombreuses combinaisons offertes par les matériaux composites ont largement contribué à alimenter ces débats et à compliquer la décision finale.*



De récentes statistiques, sur la construction mondiale de yachts de plus de 24 mètres mis en chantier entre 1980 et 1995, montrent que le matériau le plus couramment utilisé est le PRF (plastique renforcé de fibres) suivi de près par l'aluminium puis l'acier et enfin le bois. Il est intéressant de noter que ce classement varie totalement d'un pays à l'autre. Ainsi, en Italie, l'aluminium est le moins utilisé après le bois, l'acier et surtout le PRF qui vient en tête avec plus de 150 bateaux construits. Alors qu'aux USA, près de 200 unités ont été construites en aluminium pour une quinzaine de yachts en acier seulement. Les constructeurs hollandais ont réalisé près de 150 unités à structure métallique dont les deux tiers sont en acier et le reste en aluminium. Mais aucun yacht en bois ou en composite n'a été mis à l'eau aux Pays-Bas. En France, où la production de grands yachts à moteur demeure limitée, c'est le PRF qui domine avec 8 unités construites en 15 ans.

Sans prétendre apporter une réponse absolue à ce problème de choix de matériaux, il est néanmoins possible de définir les principaux éléments factuels qui permettent d'avoir une vue aussi objective que possible.

# Les éléments du choix

Les éléments et critères qui orientent le choix d'un matériau sont multiples et parfois complexes. Il est donc primordial de les identifier précisément avant d'aborder le processus de classement et de sélection.

## 1. Les contraintes opérationnelles

Elles définissent les éléments influençant le domaine d'utilisation et les performances du yacht. En premier lieu, la vitesse mais également le tirant d'eau, la manœuvrabilité, l'assiette en fonctionnement, le comportement à la mer et les périodes de roulis ou de tangage. En effet, le choix du matériau influence de façon importante la géométrie de la coque et la position du centre de gravité.

## 2. L'habitabilité

La structure intérieure d'un yacht peut varier de façon importante suivant le matériau utilisé. Les volumes occupés par l'ensemble des différents éléments de structure peuvent être optimisés pour limiter leur interférence sur les aménagements du yacht. Les autres facteurs affectés par le matériau sont l'aspect de la surface intérieure et les traitements nécessaires pour offrir une protection et un entretien efficaces.

L'intérieur d'une coque en sandwich est d'une grande simplicité par rapport à celui d'une coque en bois ou en acier. Les isolations phonique et thermique, autres caractéristiques importantes de l'habitabilité et du confort, sont bien meilleures sur les bateaux en bois. Enfin, la nécessité d'isoler les coques métalliques entraîne une augmentation de coût et de poids.

## 3. L'esthétique

Bien que tous les matériaux puissent être finis pour obtenir le meilleur aspect de surface possible, certains d'entre eux sont plus difficiles et plus coûteux à travailler et à entretenir. La déformation des bords des coques métalliques est connue de tous et à épaisseur égale, l'aluminium est le plus sensible. L'état de surface et de la qualité de finition des structures en PRF réalisées dans un moule femelle sont largement en tête du classement.

## 4. La sécurité

Il s'agit essentiellement de la résistance au feu et de la réserve de flottabilité. En matière d'incendie, une coque acier a la meilleure résistance, à l'exclusion des peintures et enduits utilisés. L'aluminium se déforme et fond à des températures relativement basses. Quant au bois et au PRF, ils ont sensiblement le même comportement bien que des résines autoextinguibles aient été développées.

La réserve de flottabilité procure à un yacht endommagé une sécurité supplémentaire sans le rendre

insubmersible pour autant. Dans ce domaine, les coques en bois et en sandwich sont les meilleures.

## 5. Le prix d'achat

Le prix d'une coque varie avec le coût du matériau, le prix de la main d'œuvre et la valeur des investissements indispensables à la fabrication. Bien entendu, pour les coques construites en PRF, le nombre de pièces fabriquées a une influence significative sur le prix. La disponibilité d'un matériau, et donc l'incidence sur son coût, peut également influencer le choix. Ainsi, certaines essences de bois sont parfois difficiles à trouver en quantité suffisante pour la construction de grandes unités. L'incidence du coût de la structure sur le prix total doit être pondérée par le fait qu'il représente en général 25% du total.

## 6. Les frais de maintenance et d'utilisation

Les principaux coûts d'utilisation d'un yacht à moteur sont l'entretien, les réparations et le carburant. Le principal poste de maintenance est généralement la peinture intérieure et extérieure de la coque, du pont et des superstructures. Dans ce domaine, le PRF est plus économique que l'acier et l'aluminium qui nécessitent l'utilisation de systèmes de peinture plus complexes et plus longs à appliquer surtout pour l'aluminium qui, néanmoins, peut être laissé brut dans les parties non visibles. L'acier doit être protégé contre la corrosion aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur. Le bois demande une surveillance et un entretien rigoureux afin d'éviter son pourrissement ou sa détérioration par les organismes vivants. La durée de vie du PRF et de l'aluminium est incontestablement supérieure à celle du bois ou de l'acier, à utilisation et entretien identiques bien évidemment. L'acier et l'aluminium sont facilement réparables par des chantiers disposant du matériel de soudure adapté à ces matériaux. Les structures en PRF peuvent être réparées simplement à condition de faire appel à des techniciens qualifiés et des matériaux de base qui, dans certains endroits du monde, peuvent être difficiles à trouver. La réparation d'une coque en bois peut s'avérer compliquée et demande une main d'œuvre qualifiée, malheureusement de plus en plus rare à trouver. Enfin, le coût du carburant est affecté par le poids de la structure. Celles en acier, largement plus lourdes, nécessitent à taille égale une carène au déplacement et à la surface mouillée plus importants. Ces deux éléments ont une incidence directe sur l'augmentation de la résistance à l'avancement et donc sur la motorisation et la consommation.

# Construction ... les matériaux



La construction bois demande un gros travail préparatoire.

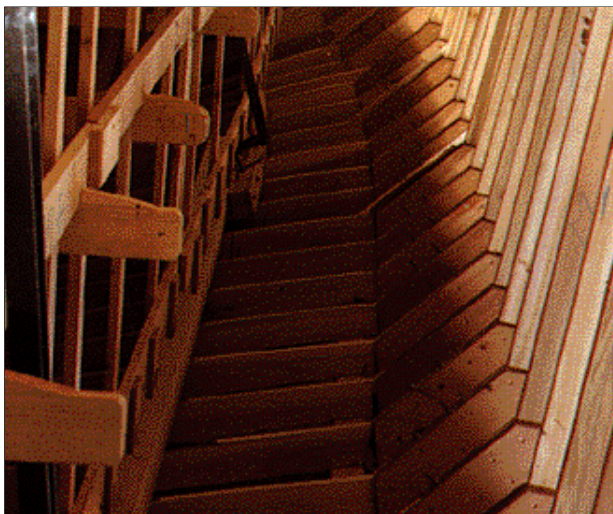


Le reprises de stratification se font uniquement à la main.



Dans les entrailles d'une structure en aluminium.

# Les matériaux



## 1 Les propriétés mécaniques et physiques

Ces propriétés sont incontournables pour le calcul et la conception de la structure. Afin de les comparer objectivement, il est préférable d'utiliser les propriétés dites spécifiques, c'est-à-dire le rapport entre les propriétés et le poids spécifique).

## 2. Le plastique renforcé de fibres (PRF)

Comme son nom l'indique, ce matériau est un composite de résine et de fibres de différents types. En effet, la résine peut être soit polyester, vinylester ou epoxy pour la plus grande partie des composites. Les renforts sont généralement des mats, des tissus ou des nappes unidirectionnelles fabriqués à partir de fibres de verre E, R ou S, aramide (Kevlar), de carbone. Nous n'utiliserons pour les comparaisons que les caractéristiques et propriétés de peaux fabriquées avec des résines polyester et des renforts de verre E, les composants les plus couramment utilisés dans l'industrie nautique.

Ce matériau a longtemps été considéré comme inaltérable et indestructible, jusqu'au début des années 70 où sont apparus les premiers symptômes de cloquage osmotique. Il demeure facile à mettre en œuvre et à entretenir, tout en permettant de concevoir des structures résistantes et rigides notamment grâce à l'utilisation du sandwich.

Ce procédé consiste à augmenter l'épaisseur du bordé par l'inclusion d'une âme épaisse et de faible densité entre deux peaux de PRF. A titre d'exemple, un bordé de 15 mm d'épaisseur en simple peau peut être remplacé par un sandwich de même poids et d'une épaisseur totale de 60 mm, offrant une résistance 27 fois supérieure. L'augmentation de rigidité du bordé sandwich permet de supprimer des raidisseurs et donc d'économiser leur poids tout en offrant une meilleure isolation thermique et phonique. L'un des points délicats de la construction en PRF est la stratification secondaire ou le collage de raidisseurs ou de cloisons structurelles sur le bordé de coque ou de pont afin de minimiser les risques de délaminage. Le PRF peut être facilement entretenu et réparé. Ses points faibles sont un mauvais comportement au feu et les risques de dégradation du composite par hydrolyse de la résine et des fibres.

## 3. L'aluminium

Ce matériau, qui présente de nombreux avantages, est disponible dans différentes nuances, épaisseurs de tôles et formes d'extrusions. Les principales nuances utilisées appartiennent aux séries 5000 et 6000 qui sont des alliages à faible teneur en cuivre particulièrement adaptés à une utilisation en milieu marin.

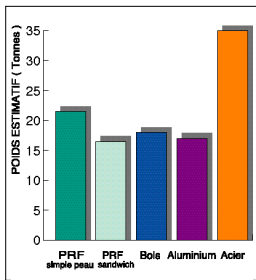
Les propriétés mécaniques des alliages peuvent être augmentées de façon substantielle par des traitements thermiques désignés par des indices qui indiquent le degré de traitement et de dureté du métal.

L'aluminium peut être mis en œuvre avec des moyens simples et les équipements de soudage sous gaz inerte sont devenus faciles

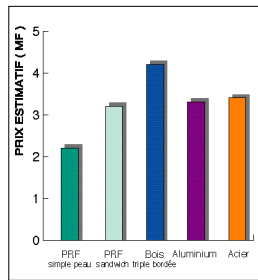


La construction nécessite de gros investissements d'infrastructures.

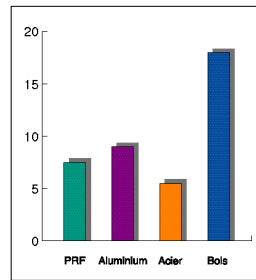
à acquérir à des prix compétitifs. La conception et la construction d'une coque en alliage d'aluminium demandent néanmoins une bonne compréhension des phénomènes de corrosion. Il est fondamental de respecter certaines règles dans le choix et l'utilisation des autres matériaux utilisés à bord afin d'éliminer



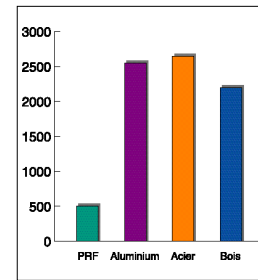
Module d'élasticité.



Résistance.



Prix estimatif d'une coque de 30 m.



Poids estimatif d'une coque de 30 m.

les risques de corrosion galvanique. Des anodes doivent être installées et vérifiées régulièrement, tant pour leur consommation que pour l'efficacité de leur montage.

De plus, les installations électriques doivent être réalisées avec le plus grand soin et comporter des isolations et des protections efficaces. Sur tous les bateaux, mais encore plus sur ceux construits en aluminium, les "bricolages" électriques peuvent avoir des conséquences dramatiques.

#### 4. L'acier

Son principal avantage est sa grande disponibilité et une mise en œuvre aisée avec des installations et des outils simples. Ce matériau est le moins coûteux de tous au niveau de sa mise en œuvre. Son principal défaut est sa perte d'épaisseur par oxydation. Bien que cette caractéristique soit prise en compte dans la détermination des échantillonnages, la corrosion fera son œuvre au fil des années. Après vingt ou trente ans de service, une coque acier demandera des travaux importants de remplacement de tôles ou d'éléments de structure. Des procédés de protection cathodiques permettent de limiter l'effet de ces phénomènes. Le poids spécifique rend cependant l'acier mal adapté à certains types et tailles de navires.



#### 5. Le bois

Une coque en bois peut être construite et réparée avec un outillage simple. Son rapport résistance/poids est le meilleur de tous les matériaux. Son isolation thermique et phonique est excellente. Malheureusement, le bois est attaqué par les tarets ou autres parasites, et il résiste plus ou moins bien, suivant les essences, à la pourriture sèche ou humide. Depuis plusieurs années, de nombreuses coques en bois ont été construites avec le West System développé aux USA par les frères Gougeon. Ce procédé permet de traiter les coques par des applications de résine epoxy à faible viscosité qui, en imprégnant le bois, augmente sa durabilité et sa résistance.