

EPFL | ENAC | SAR | janvier 2016
Énoncé théorique de Master
Dereck Raubach & Raphaël Nyckees
Directeur d'énoncé: professeur Roberto Gargiani
Directeur pédagogique: professeur Yves Weinand
Maître EPFL: Fred Hatt

EQUILIBRES

TABLE DES MATIÈRES

EQUILIBRES

AVANT PROPOS	7
L'ARCHITECTURE NAVALE	9
DES CONTRAINTES À LA FORME	11
LE COUPLE DE REDRESSEMENT	12
LE COUPLE DE CHAVIREMENT	13
LES MOUVEMENTS DU VOILIER	14
LES CONTRAINTES PROGRAMMATIQUES	15
LE GRÉEMENT	17
PLAN DE VOILURE	18
LE CAT-BOAT	20
LE SLOOP	21
LE CÔTRE	22
LE KETCH	23
LE YAWL	24
LA GOÉLETTE	25
LA CHARPENTE	27
SITUATION	31
QUILLES	32
AILERONS AJOUTÉS AILERONS INTÉGRÉS	34
ÉTRAVE ALLONGES D'ÉTRAVE	36
ÉTAMBOTS	38
TABLEAUX	40
MEMBRURES DÉCOUPÉES	42
MEMBRURES PLOYÉES	44
PORQUES	46
BORDÉS	48
SERRES BAUQUIÈRES	50
BAUQUIÈRES GOUTTIÈRES	52
BARROTS ÉPONTILLES	54
ROUFS CHÂTEAUX	56
ÉCARTS ASSEMBLAGES	58

TABLE DES MATIÈRES

RENFORTS DE MÂTS	60
SECTIONS TYPES	62
DE LA STRUCTURE À L'ESPACE	75
L'HABITABILITÉ	77
LE COCKPIT	78
LA CIRCULATION	79
LE CARRÉ	80
LE COIN NAVIGATION	81
LA CUISINE	82
LE BLOC SANITAIRE	83
LES COUCHETTES	84
LE RANGEMENT	85
PEN DUICK	86
TRANSPOSITION ARCHITECTURALE	89
GOÉLETTE ALCAE OPERA DE SYDNEY	92
PEN DUICK KURILPA BRIDGE	94
PEN DUICK LE CABANON	96
MEMBRURES DÉCOUPÉES CHARPENTE DE L'ORME	100
CHARPENTE NAVALE SEA FOLK MUSEUM	102
PEN DUICK CATHÉDRALE SAINT-PAUL	104
VERS UN PROJET	107
LEXIQUE	109
BIBLIOGRAPHIE	113

AVANT PROPOS

Dans le cadre de cet énoncé théorique, nous avons choisi de nous plonger dans un univers qui nous était auparavant inconnu. Notre propos sera le reflet de notre cheminement dans la découverte des problématiques propres à la construction navale. Ce monde s'exprimant à travers un jargon qui lui est propre, nous tenterons ici d'amener le lecteur non initié à découvrir les différentes notions du voilier et de la navigation en reprenant brièvement les bases de celles-ci. Nous tenterons cependant de ne pas nous égarer en de trop exhaustives explications techniques pour nous focaliser sur les liens que nous avons pu établir entre le monde naval et l'architecture.

« Sur le voilier, la barre en main, l'homme ne fait plus qu'un avec le bateau. Tout vibre à l'unisson si l'accord est parfait, tout craque à la moindre dissonance et où il y avait une chose ailée, inclinée gracieusement sous le souffle de la brise, gît une épave aux agrès enchevêtrés. Voilà ce qu'il en coûte de la moindre incompatibilité d'humeur entre l'homme et le bateau. Prendre la barre d'un voilier, c'est contracter une alliance, n'avoir plus qu'une âme. »

Dans "Histoire de la marine", YACHTING ET OEUVRES DE MER, p.543

L'ARCHITECTURE NAVALE

L'architecture navale, en temps que mécanisme complexe, fascine par la justesse des équilibres régissant ses éléments. On a choisi de se plonger dans cet univers car c'est là l'occasion d'ouvrir la réflexion architecturale à un sujet peu connu des architectes. Il s'y retrouve nombre de problématiques architecturales dont les réponses spatiales et structurelles sont parfois façonnées par d'autres contraintes que celles auxquelles on est habituellement confronté.

Cette analyse visera à mettre en évidence le lien qu'il peut y avoir sur un navire entre les contraintes auxquelles celui-ci répond, sa forme, sa structure et la spatialité qui en découle. L'univers naval depuis l'aube de la civilisation fournissant une multitude de types d'embarcation, cette étude se focalisera sur un type de bateau spécifique où ce lien semble atteindre son paroxysme. Ainsi on se penchera plus particulièrement sur les voiliers de plaisance ou de course, réalisés en bois et dont les dimensions permettent l'intégration d'espaces intérieurs dont la spatialité demeure fortement influencée par la forme de la carène.

Après avoir pris conscience des contraintes architecturales liées à la navigation, l'étude du voilier de petite taille semble s'imposer. En effet, ce type de bateau demeure à une échelle où les liens entre la coque, les éléments propres à la navigation et les espaces habitables sont omniprésents.

Ensuite, on se focalisera sur l'étude du voilier et non d'une catégorie de bateau usant d'une autre force motrice car la voile introduit des contraintes spécifiques liées à la gîte du navire, ce qui vient altérer la notion usuelle de gravité qu'on a pu acquérir en architecture. En effet, la gîte du navire amène des problématiques de rotation des plans ainsi que d'équilibre des sujets et des objets à bord, ce qui s'inscrit parfaitement dans une problématique d'intégration et d'adaptation d'éléments d'architecture à l'univers naval.

Concernant le choix du matériau, on optera pour le bois car à l'image d'un mécanisme horloger, sa mise en oeuvre implique une interdépendance de chacun des éléments. Il impose une réflexion sur la relation entre son origine et sa finalité. Le bois impose aussi une réflexion poussée par rapport aux autres matériaux du point de vue de l'assemblage structurel. On reconnaîtra toutefois une part de romantisme dans le choix de ce matériau.

INTRODUCTION

Dans un premier temps, on s'intéressera aux contraintes physiques liées à la navigation pour ensuite comprendre les assemblages structurels qui en découlent. Finalement, on abordera la notion d'habitat minimal et autarcique dont la genèse par la forme et la structure constituera l'essentiel du propos.

DES CONTRAINTES À LA FORME

Contrairement aux autres moyens de locomotion, le voilier évolue dans deux milieux simultanément. Ainsi, celui-ci ne peut exploiter la force motrice de l'air que dans la mesure où il peut s'appuyer sur l'eau sur laquelle à la fois il repose. Ces deux fluides induisent de par leur nature et leur mouvement une série de contraintes qui dictent la forme, la structure et l'espace (qu'elle génère dans le voilier). Cet ensemble peut être interprété comme une formidable machinerie d'équilibre et de transmission des efforts depuis l'air jusqu'à l'eau.

Le gréement d'un navire constitue l'ensemble des éléments situés au-dessus du plan de pont destinés à capter la force du vent et à la transmettre à la coque. Cette dernière aura une fonction d'appui sur l'eau sur son bord tout en permettant la pénétration de la carène dans l'eau dans le sens de déplacement du voilier. La coque assure également la flottabilité et l'étanchéité du voilier.

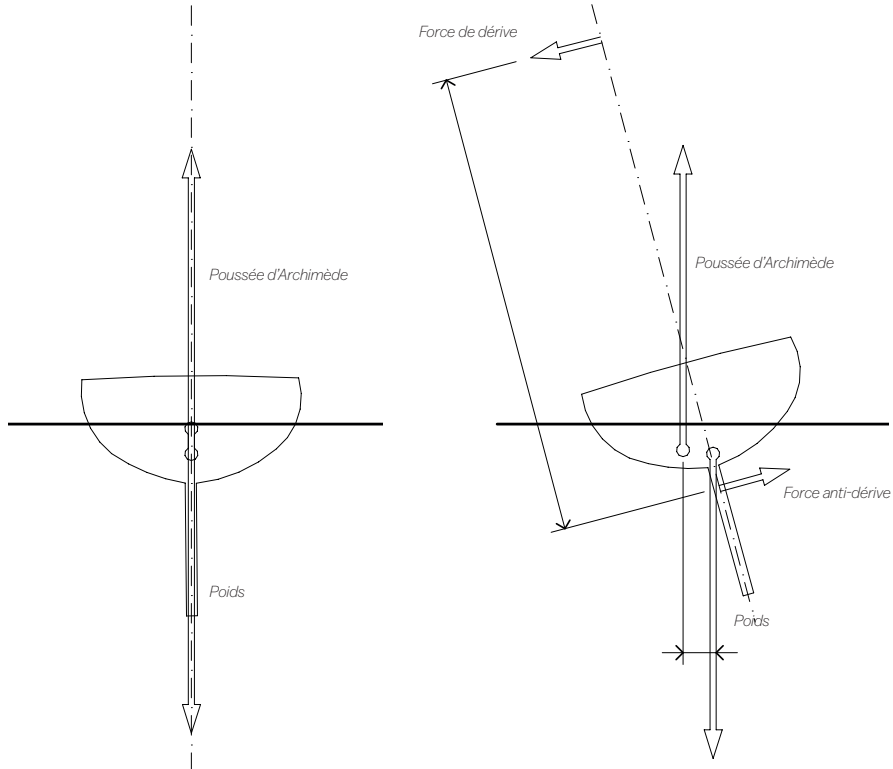
Les contraintes auxquelles est soumis un voilier ont quatre origines: les pressions statiques et dynamiques de l'eau, le fonctionnement même du voilier dans sa liaison avec son moteur qu'est la voilure, la répartition des poids et finalement les mouvements de la surface de l'eau. Chacune de ces contraintes induisent des mouvements dans le voilier, auxquels ses éléments structurels et son habitat devront s'y adapter.

LE COUPLE DE REDRESSEMENT

La première contrainte du voilier étant d'assurer sa flottabilité, la coque subit une force de sustentation hydrostatique liée à la poussée d'Archimède: "Tout corps plongé dans un fluide reçoit de la part de celui-ci une poussée verticale dirigée du bas vers le haut, égale au poids du volume de fluide déplacé." Son point d'application est variable et se trouve au centre de carène, soit au centre de gravité de la partie immergée du voilier. Cette force est opposée au poids du voilier, dont le point d'application constant se trouve en son centre de gravité.

Le couple de redressement est constitué par le poids et la poussée d'Archimède. Ce couple n'a d'effet que lorsque le bateau est incliné : la distance entre les deux forces existe alors, et l'intensité du couple devient non nulle. Il tend à redresser le bateau. Cela est dû au déplacement du centre de carène car la géométrie du volume de coque immergée change.

L'intensité de la poussée d'Archimède et du poids s'adaptent naturellement: si le bateau est soulevé, le volume d'eau déplacé diminue, donc la poussée d'Archimède aussi et elle devient inférieure au poids. Le bateau s'enfonce donc jusqu'à la position d'équilibre et inversement.



A gauche: principe de la poussée d'Archimède. A droite: équilibre des couples de chavirement et de redressement.

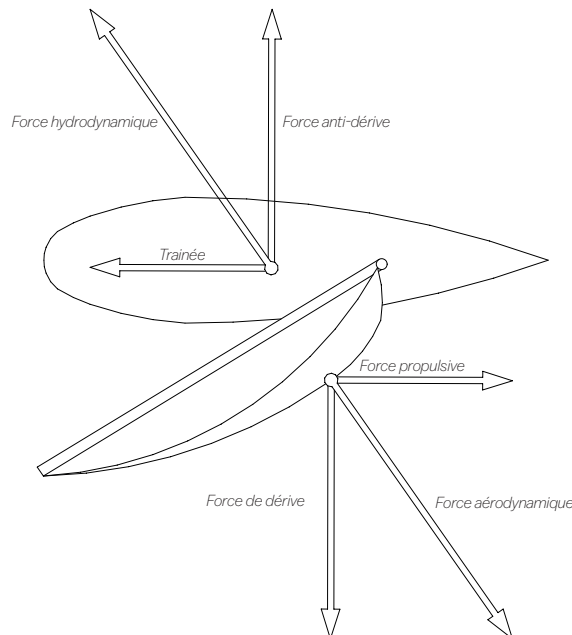
LE COUPLE DE CHAVIREMENT

La force aérodynamique résulte de la déviation de l'air par la voile. Elle est proportionnelle à la surface de voile et au carré de la vitesse du vent apparent. Elle s'applique au tiers avant de la voile, presque à mi-hauteur de la voile et elle est perpendiculaire à la tangente en ce point et orientée vers le bord sous le vent. La composante longitudinale est appelée force propulsive et la composante transversale force de dérive.

La force hydrodynamique résulte quant à elle du frottement de l'eau sur la carène et la dérive. Elle est proportionnelle au carré de la vitesse du bateau et en rapport avec la surface et la forme de la dérive et de la carène. Elle s'applique au centre de carène, qui est le centre de gravité de la partie immergée du bateau et sa direction dépend de la force aérodynamique à laquelle elle s'oppose. La composante longitudinale est appelée traînée et la composante transversale portance de la dérive.

La force de dérive (composante transversale de la force aérodynamique) et la portance ou force anti-dérive (composante transversale de la force hydrodynamique) forme le couple de chavirement.

Ce couple perd de l'efficacité pour une grande inclinaison car la distance entre les vecteurs diminue alors. L'effet de gîte imposé par le vent s'épuise donc dans une certaine mesure au fur et à mesure que le vent augmente.

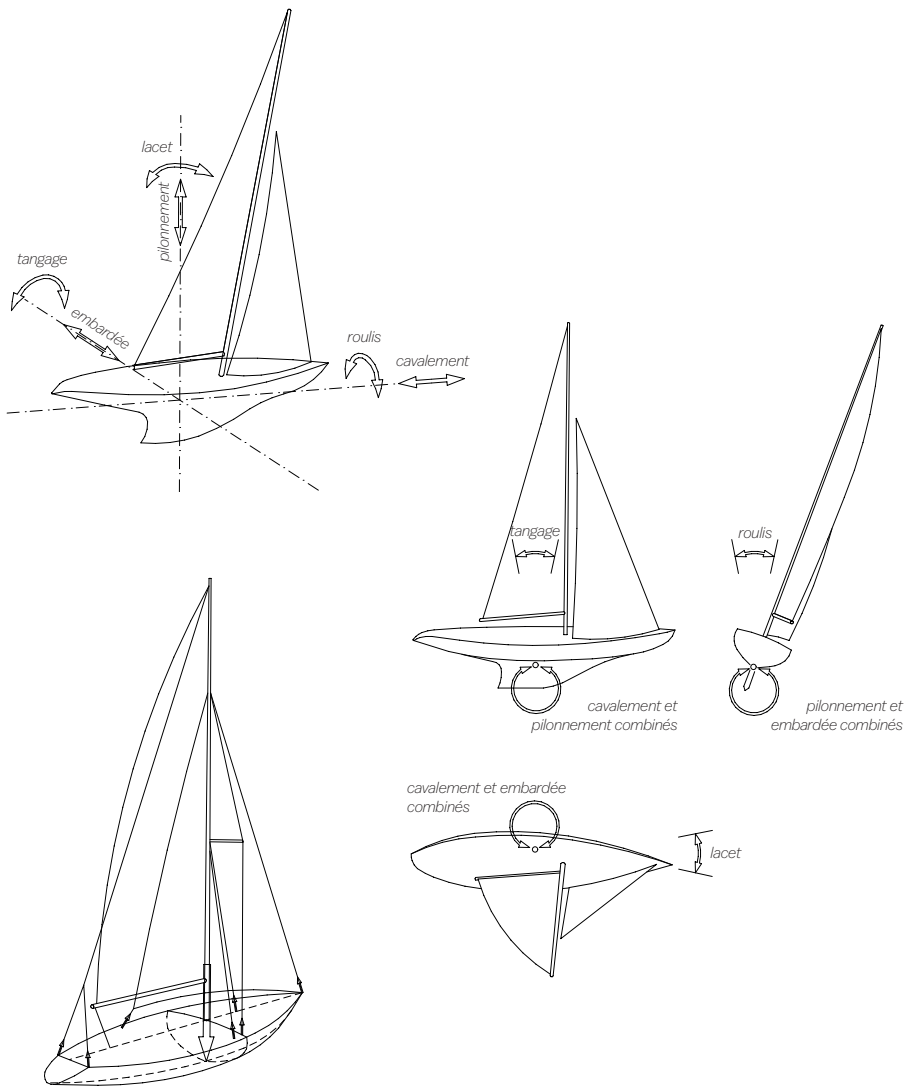


Plan horizontal des forces aérodynamique et hydrodynamique ainsi que leurs composantes longitudinales et transversales

LES MOUVEMENTS DU VOILIER

Plus la gîte du bateau sera importante, moins le couple de chavirement sera efficace et plus le couple de redressement le sera. Ces conditions, pourvu que la force aérodynamique ne soit pas trop forte (auquel cas l'embarcation chavirerait), amènent à une position d'équilibre du voilier.

L'ensemble de ces contraintes entraînent des mouvements de rotation de plans définis dans l'espace selon un repère orthonormé dont l'origine se situe au centre de gravité du voilier. Ces rotations auront une incidence sur la forme des éléments structurels ainsi que sur la manière d'habiter le voilier.

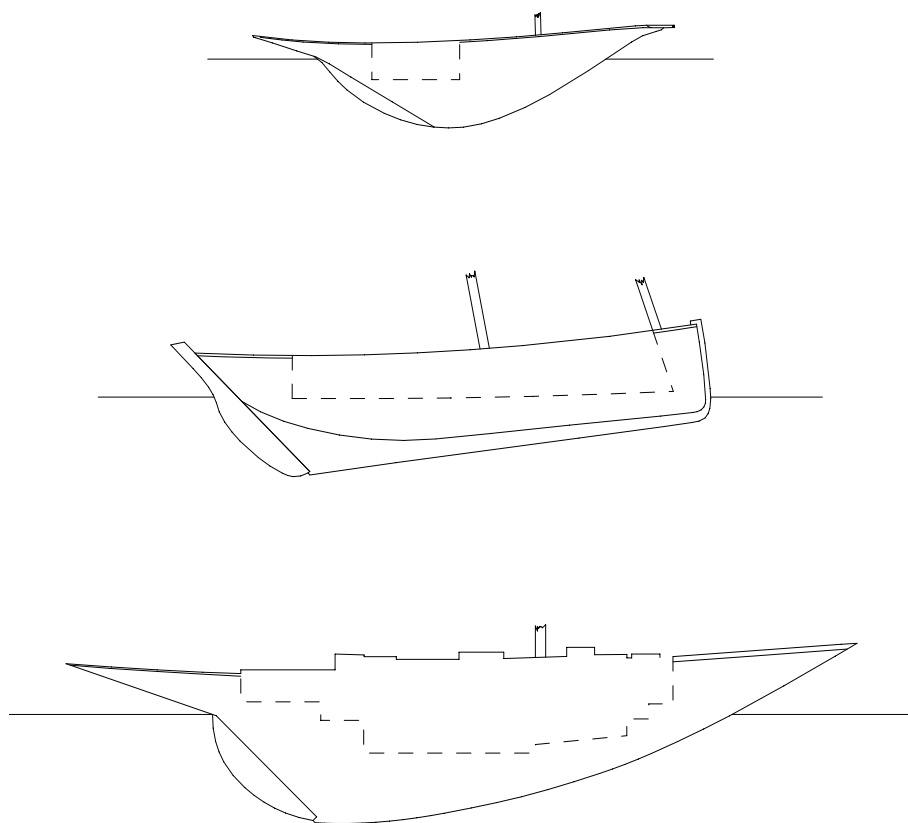


En haut: définition des mouvements du voilier selon trois axes de référence. Au milieu: définition des mouvements du voilier selon trois axes de référence. En bas: ensemble des efforts du gréement sur la coque et réaction du mât.

LES CONTRAINTES PROGRAMMATIQUES

La forme de la carène sera dictée par l'étude hydrodynamique des écoulements fluidiques de l'eau d'une part mais également par les contraintes programmatiques liées à la fonction du voilier. Ainsi, un navire destiné à la plaisance ne présentera pas les mêmes caractéristiques qu'un voilier destiné à la pêche. Un voilier destiné à la course adoptera par exemple une forme relative aux jauges internationales et aux performances de vitesse.

De plus, les divers aménagements et installations techniques permettant de voyager de manière autonome auront un impact direct sur la spatialité et la répartition du poids propre.



Comparaison de la relation entre espace habitable et forme de carène pour trois types d'embarcations: En haut: voilier de régates construits suivant la jauge de course des 30 m². Au milieu: chaloupe sardinière de Douarnenez. En bas: Pen Duick, anciennement Yum, célèbre voilier de Éric Tabarly.

LE GRÉEMENT

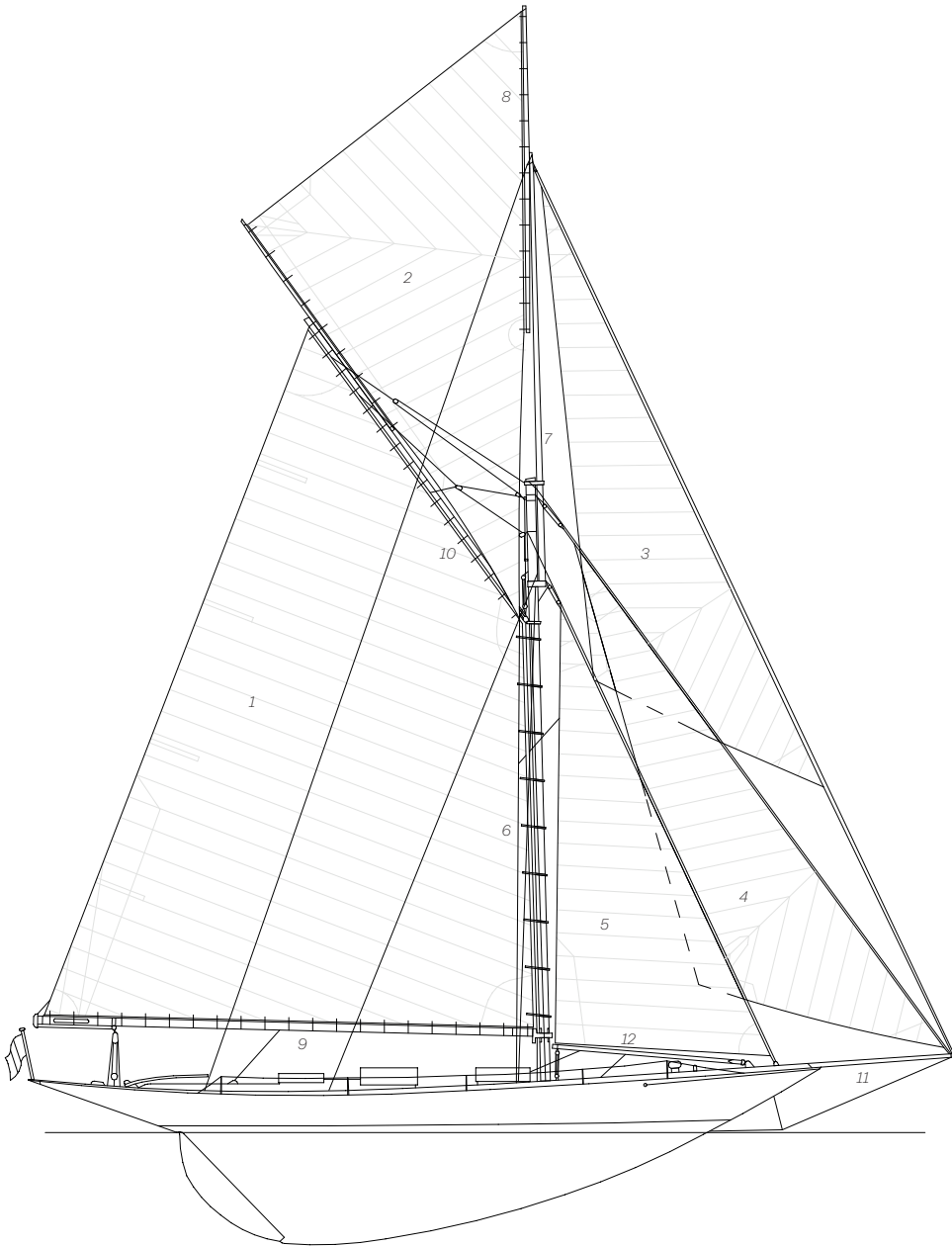
Le gréement est constitué de l'ensemble des "espars" (mâts, bômes, tangons, etc.), manoeuvres courantes (drisses, écoutes, etc.) et manoeuvres dormantes (étais, haubans, etc.) servant à régler, établir et manoeuvrer la voilure.

Les espars sont des pièces de mâture originellement en bois sur lesquelles viennent se fixer les voiles et les différents haubans. Ces éléments travaillent en compression et en flexion et sont parfois précontraints par des étais. Les manoeuvres courantes sont les différents éléments de cordage servant à manoeuvrer les voiles. Et finalement, les manoeuvres dormantes sont les éléments travaillant en traction qui viennent soit pré-contraindre les espars, soit reprendre les efforts de voilure.

L'ensemble de ces trois catégories d'éléments forment le gréement d'un navire fonctionne, avec la coque, comme un système de forces fermé permettant à la fois l'équilibre et la propulsion du voilier. Une telle complexité et réciprocity des efforts ne sont pas sans évoquer une certaine notion de tenségrité. En effet, certaines pièces suspendues par des manoeuvres dormantes semblent parfois en apesanteur, des structures en flexion trouvant leur équilibre dans la précontrainte par des câbles.

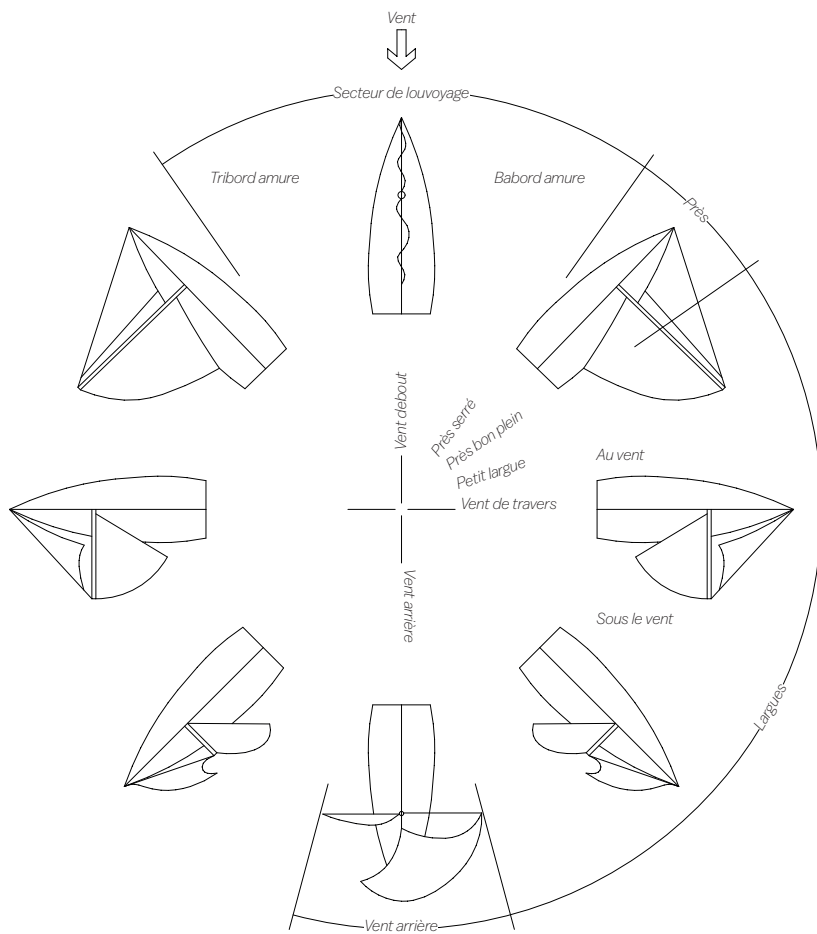
La forme et le type de gréement dérivent directement de la zone géographique et des vents (changeants ou pas) avec lesquels le voilier devra naviguer (historiquement, voiles latines adaptées aux vents changeants de la Méditerranée et voiles carrées adaptées aux vents plutôt constants de l'Atlantique). En ce sens, les multiples types de gréements illustrent combien le voilier est un objet vernaculaire extrêmement contextualisé et adapté à son environnement. Mais le gréement répond surtout aux exigences programmatiques du voilier. Sa typologie s'adaptera à la manoeuvrabilité désirée. Celle-ci sera fonction du nombre de personnes destinées à manoeuvrer le navire ainsi qu'à la vitesse d'exécution requises ou espérées pour ces manoeuvres. Aussi, le gréement sera-t-il choisi en fonction du type de navigation auquel sera destiné le voilier; hauturière ou côtière.

PLAN DE VOILURE



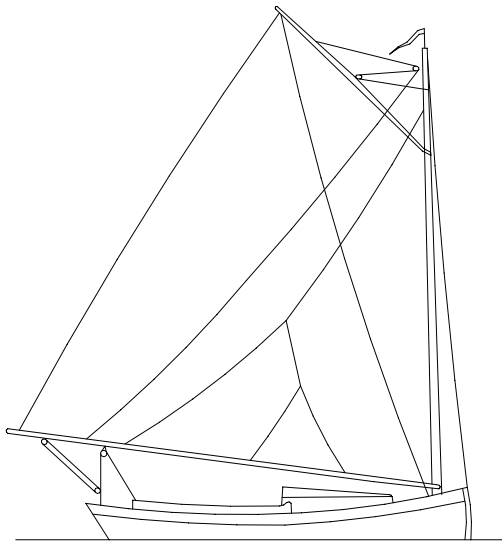
Gréement du Pen Duick de Éric Tabarly. Voilure: 1 grand-voile à corne, 2 flèche, 3 foc, 4 clinfoc ou yankee, 5 trinquette.
Espars: 6 mât, 7 mât de hune, 8 vergue de hune, 9 bôme de grand-voile, 10 pic ou corne, 11 beaupré, 12 tangon.

LE GRÉEMENT



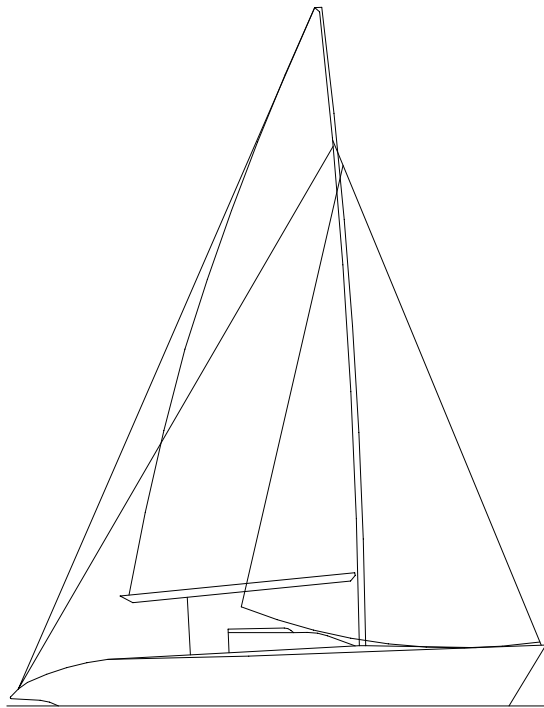
Les différentes allures de marche du voilier par rapport à la direction du vent.

LE CAT-BOAT



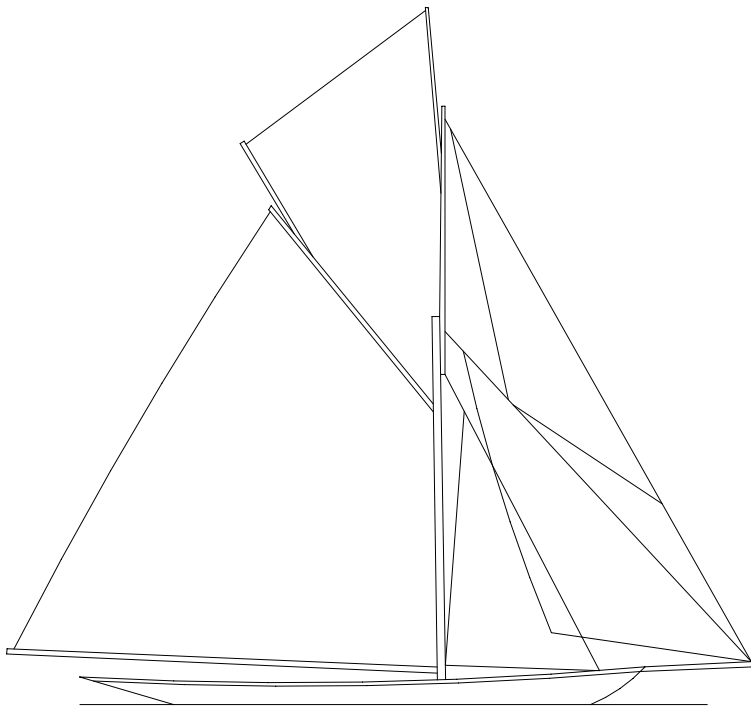
Le « Cat-Boat »: Adapté à de petites unités, c'est le gréement idéal du point de vue du rendement et nécessitera un mât tournant. Cependant la surface de voilure est rapidement limitée par la stabilité de la carène et ne dépassera donc pas les 12 m² par équipier. Ce gréement se limite à une voile unique soutenue par un mât à l'avant de l'embarcation.

LE SLOOP



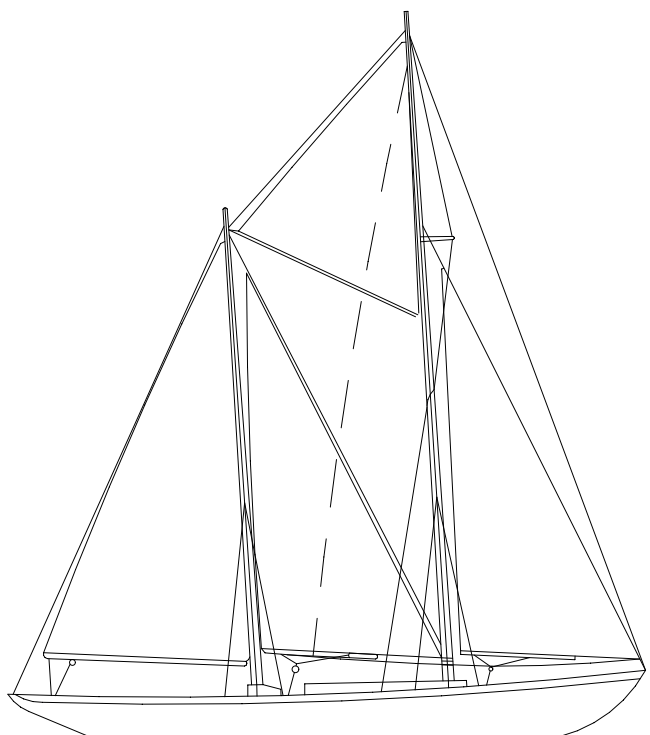
Le « Sloop »: Le gréement de sloop est approprié lorsque la surface de voilure se situe entre 10 et 20 m² par équipier pour une surface totale d'une vingtaine de m². Il se compose d'une grand voile et d'un foc montant au $\frac{3}{4}$ du mât. Le foc et les éventuelles autres voiles d'avant permettent de s'adapter à toutes les conditions de vent.

LE CÔTRE



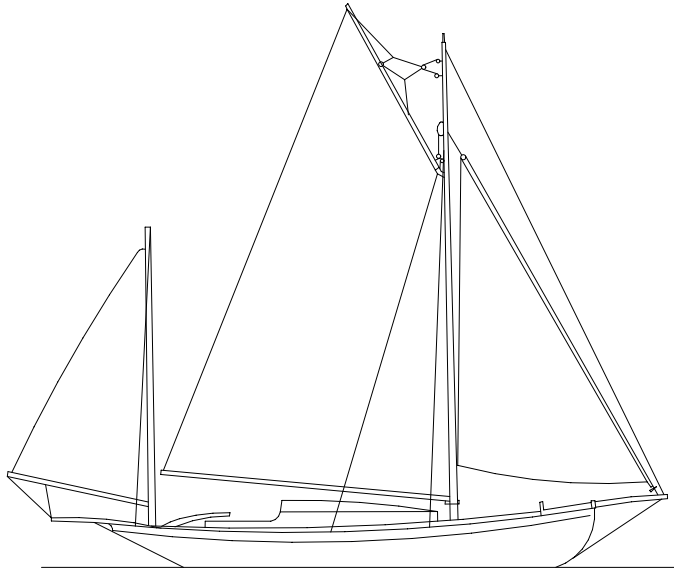
Le « Côte »: Gréement caractérisé par trois voiles d'avant dont un foc, un yankee et une trinquette qui permettent une grande adaptabilité aux vents. Dans le cas d'un côte à voile aurique, la grand-voile sera surplombée d'une voile à corne, employée sur les voiliers de la fin du siècle dernier.

LE KETCH



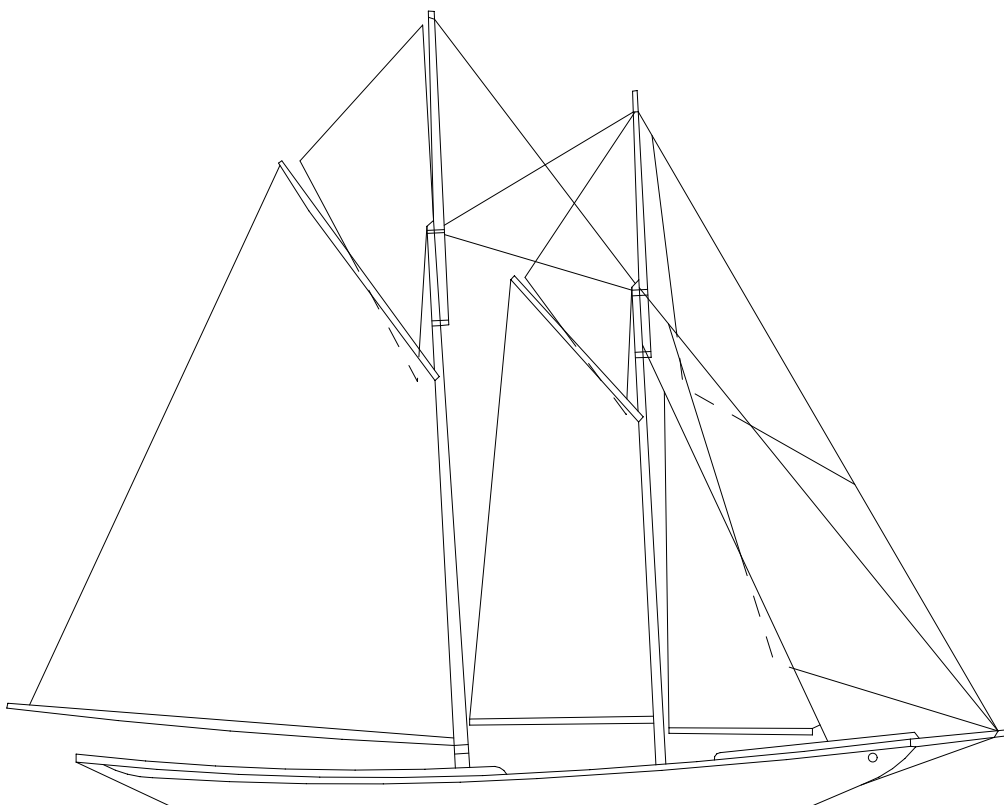
Le « Ketch »: Il se caractérise par un gréement de côtre derrière lequel l'on a ad-joint un mât d'artimon. L'artimon est idéal pour naviguer au près à un angle d'in-cidence très faible. Ce type de gréement fonctionne d'autant mieux lorsque l'espace entre les mâts est exploité par une grand-voile à wishbone quadran-gulaire ou encore couplée d'une voile d'étai bômée ou non.

LE YAWL



Le « Yawl »: La petitesse de son artimon rend le yawl dérisoire en comparaison du gréement de ketch décrit ci-avant. Cependant, il a potentiellement l'avantage de permettre un équilibrage aisé de la voilure par un seul homme.

LA GOÉLETTE



La « Goélette »: Gréement destiné à la navigation hauturière, la goélette classique possédant deux grand-voiles n'exploite pas l'efficacité des voiles d'avant qui conservent une capacité de déploiement réduite (malgré que l'ensemble du gréement déploie une importante surface de voilure). Les goélettes modernes, elles, s'adaptent mieux si l'on envisage une voile d'étai à grand allongement pouvant agir comme un foc sur la voile d'artimon. C'est là l'aboutissement logique du ketch.

LA CHARPENTE

La structure du voilier étant destinée à transmettre la force du vent jusqu'à l'eau et la coque devant résister aux multiples pressions latérales, la carène fonctionne comme une poutre composée. Elle doit assurer la flottabilité et l'étanchéité du bateau. Elle se compose d'éléments transversaux rigides, assemblés et maintenus par des éléments longitudinaux, le tout est recouvert d'une paroi étanche. Elle doit aussi pouvoir résister aux contraintes de flexion qui lui sont transmises par le mât et les gréements.

Le bois est particulièrement apprécié dans la construction navale pour ses caractéristiques de légèreté, de souplesse et de rigidité. Cependant, son élasticité aura une grande influence sur le principe de construction, la charpente ne pouvant pas être complètement rigide. De plus le système constructif devra prendre en compte la sensibilité du bois aux variations de température et d'humidité. La construction navale se rapproche en ce sens de la construction traditionnelle.

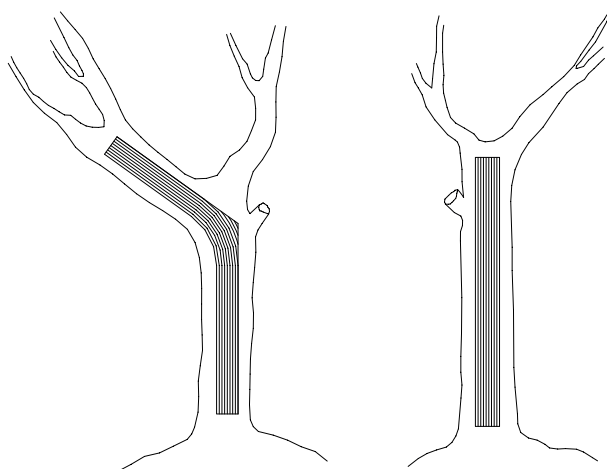
Le bois étant un matériau naturel, il présente des propriétés mécaniques variables en fonction de son environnement et est sensible aux dégradations biologiques. L'altitude et la longitude influencent la vitesse de croissance d'un arbre et ses propriétés. Pour une même essence, une croissance lente présentera une densité et des résistances mécaniques supérieures à celles issues d'une croissance plus rapide. La qualité d'un bois dépend également de la nature du sol qui influence la proportion entre tissu ligneux et tissu fibreux.

On trouve principalement trois types d'essence dans la construction navale, présentant des caractéristiques et des résistances mécaniques propres: Les bois durs, résineux et exotiques. Les bois durs, comme le chêne, l'orme ou l'acacia présentent un tissu ligneux très développés et s'emploient surtout dans des pièces de charpentes et de menuiseries. Les bois résineux, comme le pitchpin, le pin ou le sapin sont de manière générale plus résistants face aux attaques externes et ont une meilleure durabilité. Les bois exotiques, comme les tecks, les acajous ou les okoumés sont souvent utilisés pour les pièces vernies dont la fatigue est faible. Ils sont plus appréciés pour leur aspect que pour leurs propriétés mécaniques.

La morphologie est un élément important dans la fabrication des éléments d'ossature d'un bateau. En effet, chaque pièce de bois s'utilise de manière op-

LA CHARPENTE

timale en fonction de sa forme. On distingue trois catégories d'éléments, les bois droits, les bois courbes et les courbants. Les bois droits s'utilisent pour des pièces droites ou légèrement courbes, telles que les quilles et allonges de quilles. Les bois courbes s'emploient pour des pièces avec une courbure régulière et continue telle que les varangues plates, demi-couples, allonges de membrures. Finalement, les courbants s'utilisent pour des pièces présentant en un certain point un relèvement brusque. Dans la mesure du possible, on essaiera de choisir un tronc correspondant à la courbure de la pièce désirée, ainsi, les lignes du bois suivront la courbe de la pièce, n'altérant pas la résistance de celle-ci. Néanmoins, il faudra aussi prendre en compte la dureté du bois pour le débitage et trouver le juste équilibre entre dureté et résistance.



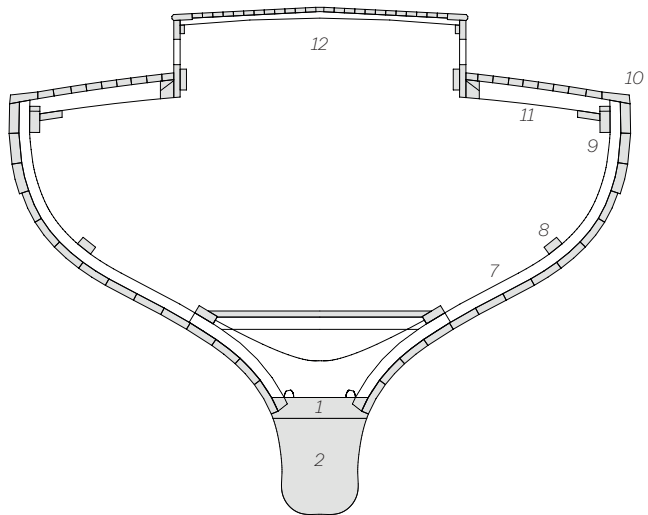
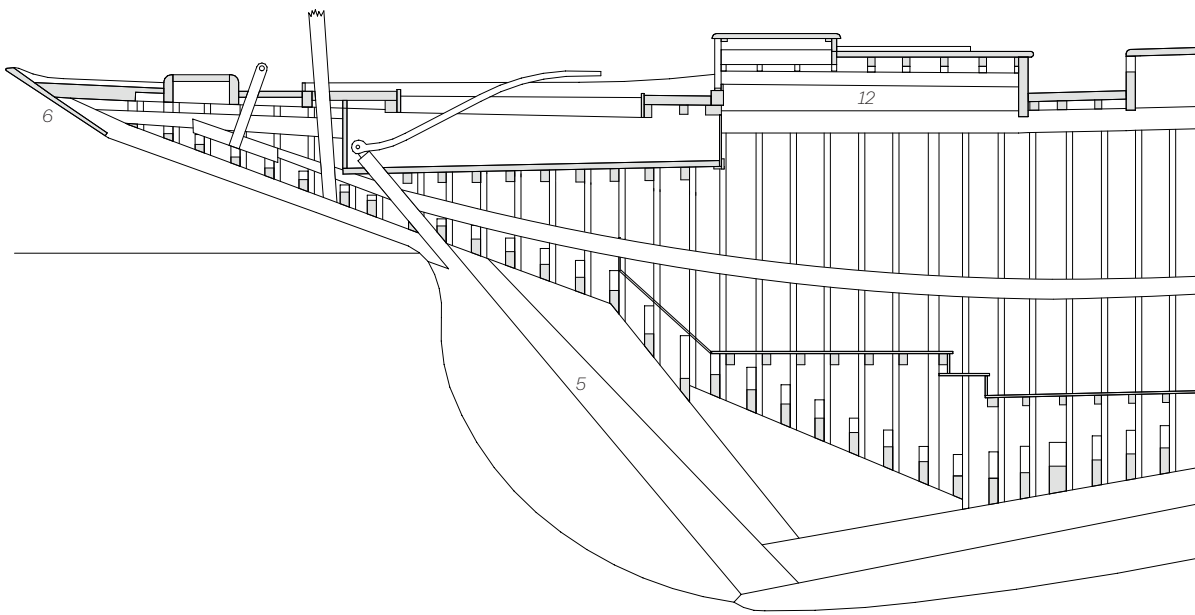
Troncs correspondant à certaines courbures.

On retrouve de manière plus ou moins complexe le même principe de charpente dans chaque coque. Une poutre longitudinale constitue la colonne vertébrale du navire, la quille, qui reçoit à chaque extrémité, une poutre verticale, l'étrave à l'avant, l'étambot à l'arrière. Des poutres transversales sont montées symétriquement le long de la quille, ce sont les membrures, elles forment la cage thoracique qui reprend les formes du bateau et aussi le support de l'enveloppe externe. De même qu'elles sont liées au pied par la quille, elles sont liées à la tête par la bauquière. Il arrive aussi qu'une structure intermédiaire soit ajoutée au niveau du bouchain: la serre de bouchain. La face supérieure de la charpente est complétée par les barrots ou baux, des poutres transversales similaires aux membrures venant reprendre les pressions latérales. Cette structure est ensuite recouverte par une enveloppe étanche: le bordé.

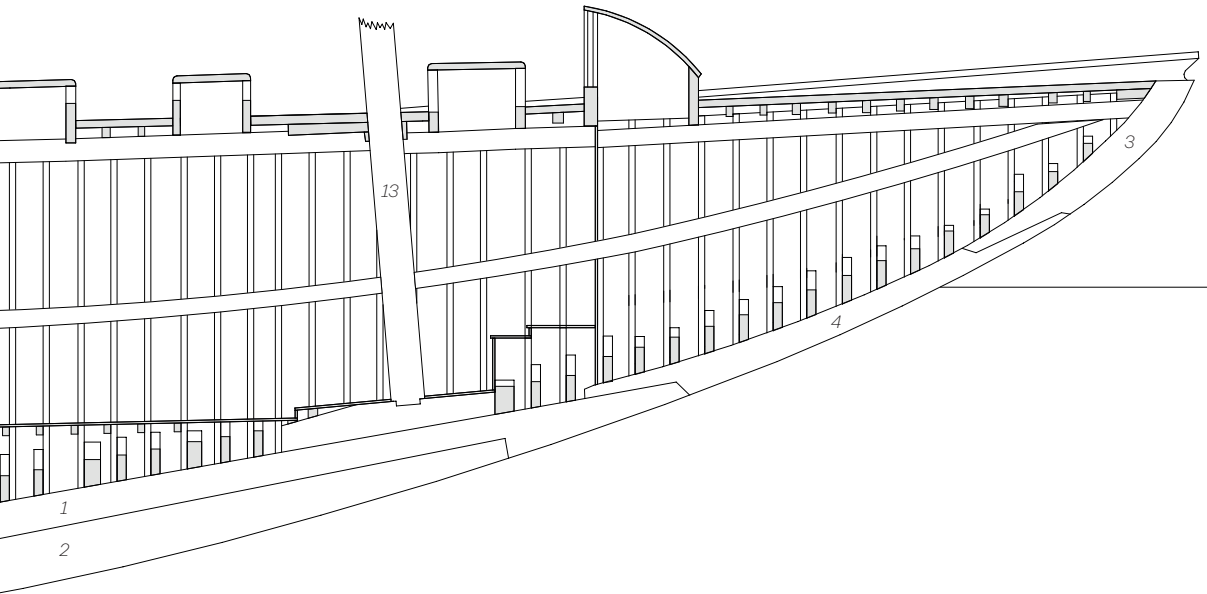
LA CHARPENTE

Dans l'impossibilité d'empêcher la déformation par flexion due à l'élasticité du matériau, on doit s'efforcer d'assurer la rigidité de tous les angles. Leur invariabilité est une condition *sine qua non* de la solidité et de l'étanchéité de la coque. Des éléments tels que des courbes permettent de rigidifier des angles. Les assemblages tels que des doubles queue d'aronde permettent de résister aux efforts alternés. Ainsi la charpente forme un système rigide mais suffisamment souple pour éviter la rupture de la structure. La structure, bien que régulière, doit être capable de résister aux efforts induits par l'eau et le vent. Ainsi certains éléments comme le mât nécessite un dispositif spécial renforçant la structure.

On étudiera ici la construction des carènes en bois et la manière dont les différentes pièces sont assemblées pour des voiliers de taille modeste.

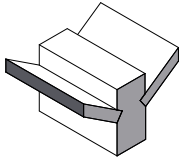


LA CHARPENTE

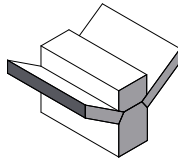


Plan & coupe structurels donnant la position des différents éléments: quille, 2 lest, 3 étrave, 4 allonge d'étrave, 5 étambot, 6 tableau, 7 membrue, 8 serre, 9 bauquière, 10 gouttière, 11 barrots, 12 rouf, 13 mât.

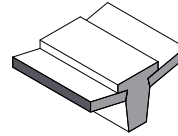
QUILLES



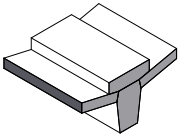
quille en une pièce



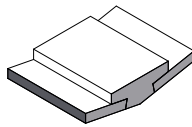
quille avec chapeau



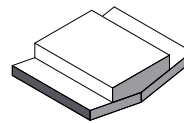
quille à chapeau



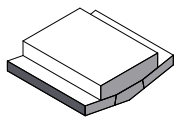
quille avec chapeau



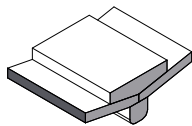
quille à chapeau ployée



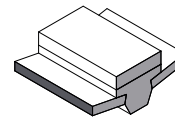
quille intérieure ployée



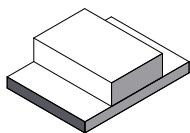
*quille ployée avec latte
extérieure*



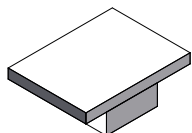
*quille ployée avec latte
extérieure*



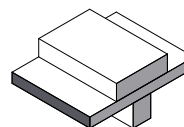
*quille ployée avec chapeau en
deux épaisseurs*



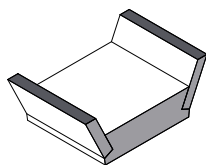
*coque en U
quille intérieure*



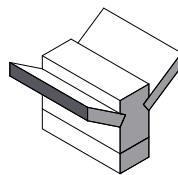
*coque en U
quille extérieure*



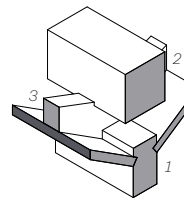
*coque en U
quille intérieure
fausse quille extérieure*



*coque à aileron
quille plate*

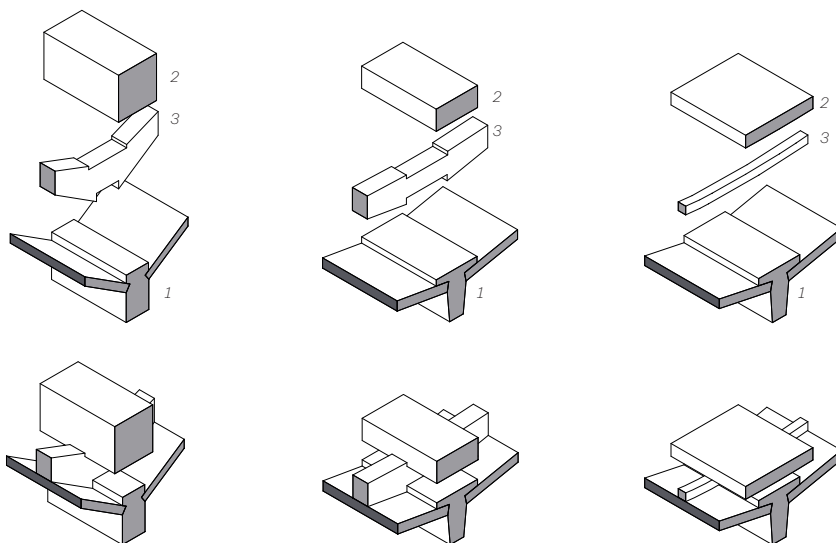


quille avec contre-quille

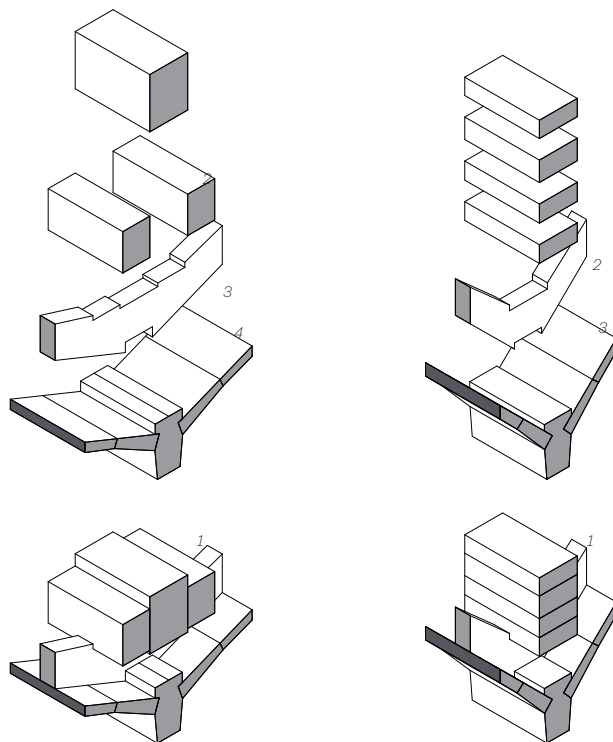


*1 quille
2 carlingue
3 vaurangue*

QUILLES

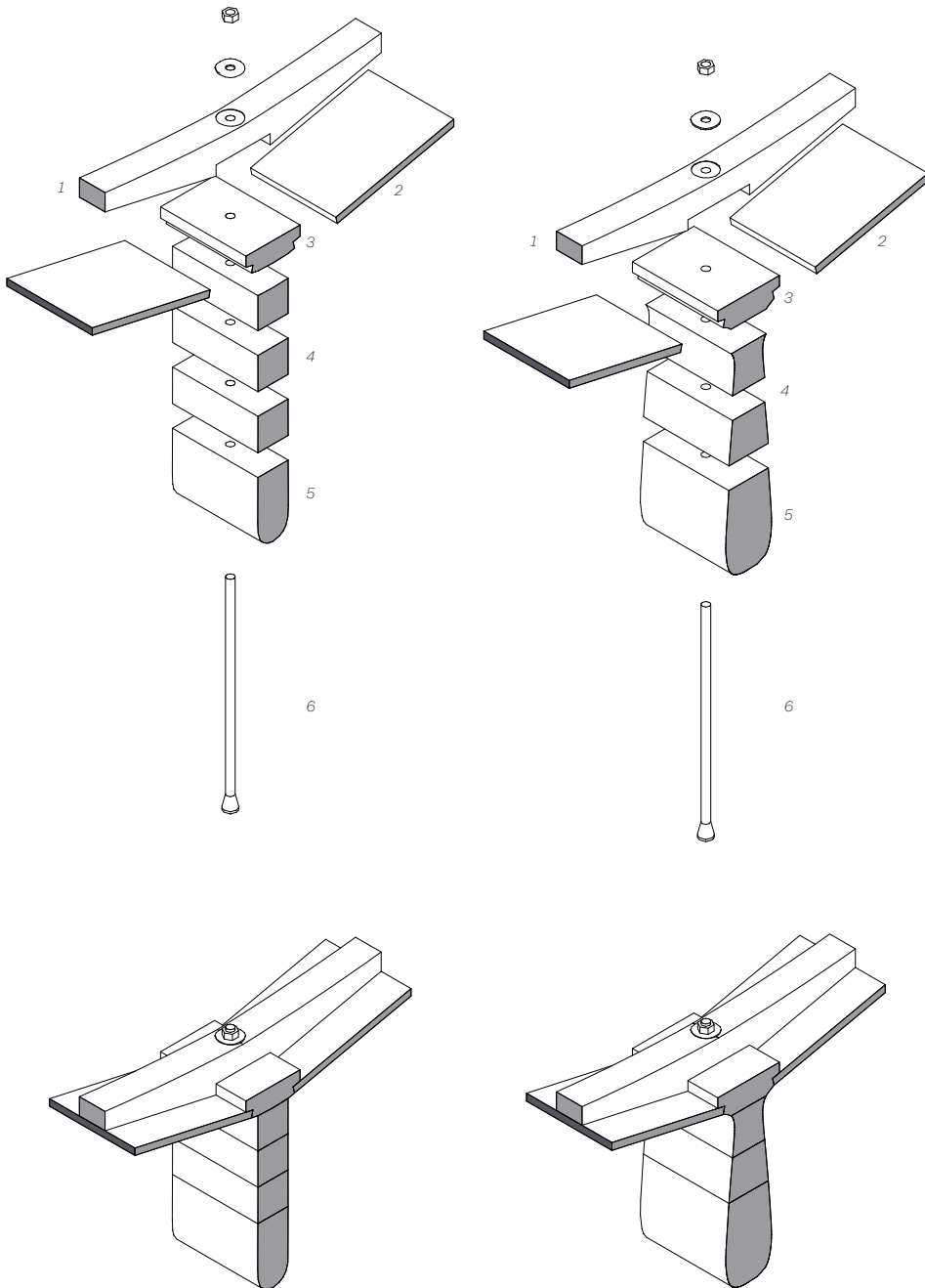


A gauche: 1 quille, 2 carlingue, 3 varangue.
 Au centre: 1 quille à chapeau, 2 carlingue, 3 varangue.
 A droite: 1 quille à chapeau, 2 carlingue plate, 3 membre ployé.



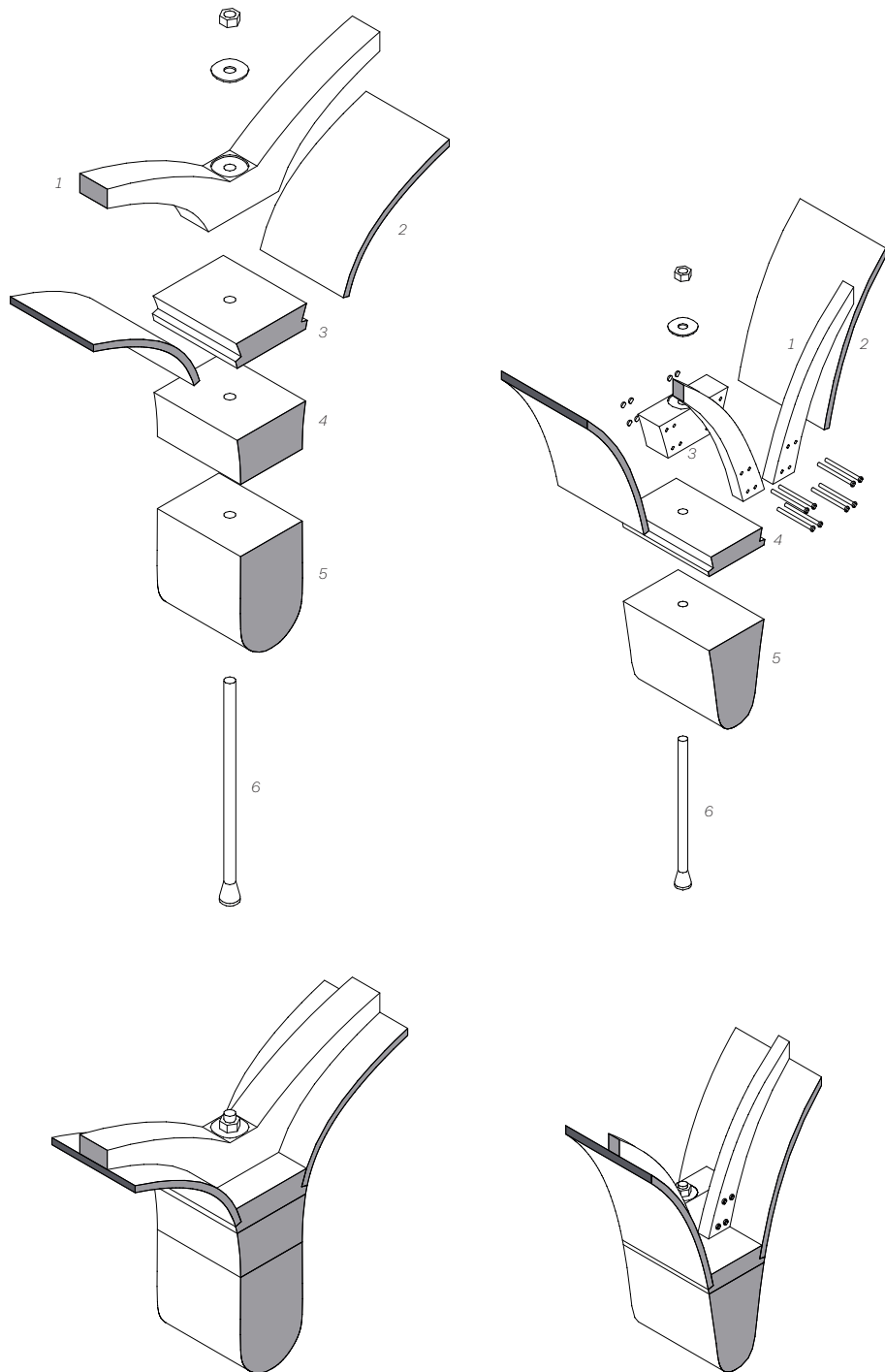
A gauche: 1 quille, 2 carlingue, 3 carlingots, 4 varangue.
 A droite: 1 quille à chapeau, 2 carlingue, 3 varangue

AILERONS AJOUTÉS



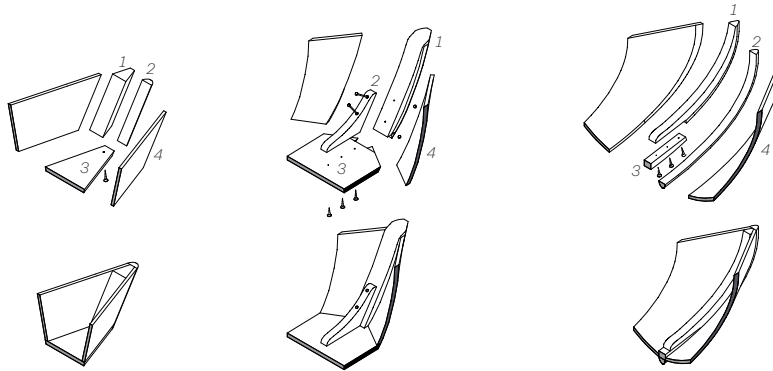
A gauche: aileron ajouté à section droite; 1 varangue, 2 bordé, 3 quille plate, 4 aileron, 5 lest en plomb, 6 boulon.
A droite: aileron intégré à section droite; 1 bras de varangue, 2 bordé, 3 quille plate, 4 aileron, 5 lest en plomb, 6 boulon.

AILERONS INTÉGRÉS

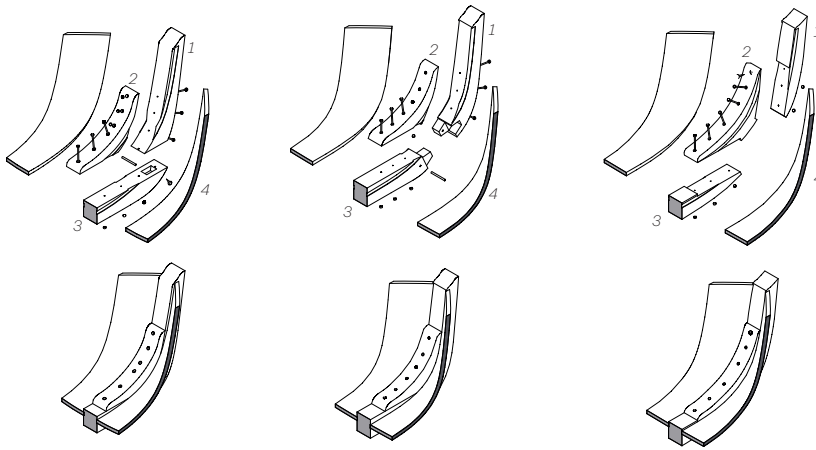


A gauche: aileron intégré à section droite; 1 varangue, 2 bordé, 3 quille plate, 4 remplissage, 5 lest en plomb, 6 boulon.
 A droite: aileron intégré à section droite; 1 bras de varangue, 2 bordé, 3 quille plate, 4 remplissage, 5 lest en plomb, 6 boulon.

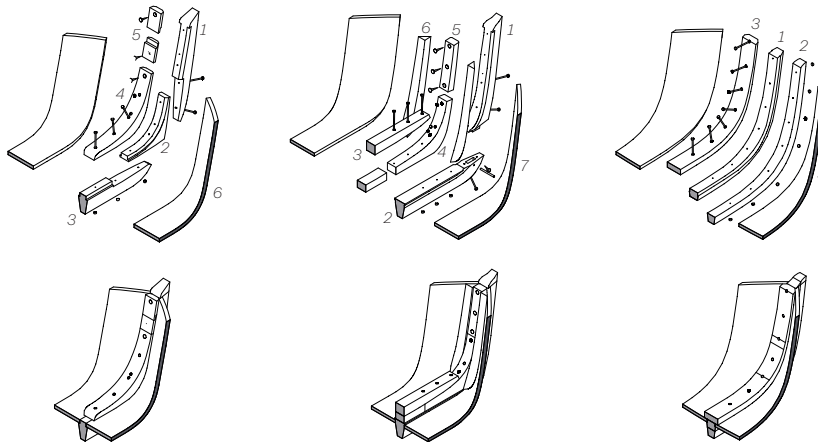
ÉTRAVES



A gauche, périssoire: 1 étrave, 2 fausse étrave, 3 sole, 4 bordé.
 Au centre, plate: 1 étrave, 2 taquet, 3 sole, 4 bordé.
 A droite, kayak: 1 étrave, 2 fausse étrave, 3 quille ployée 4 bordés.

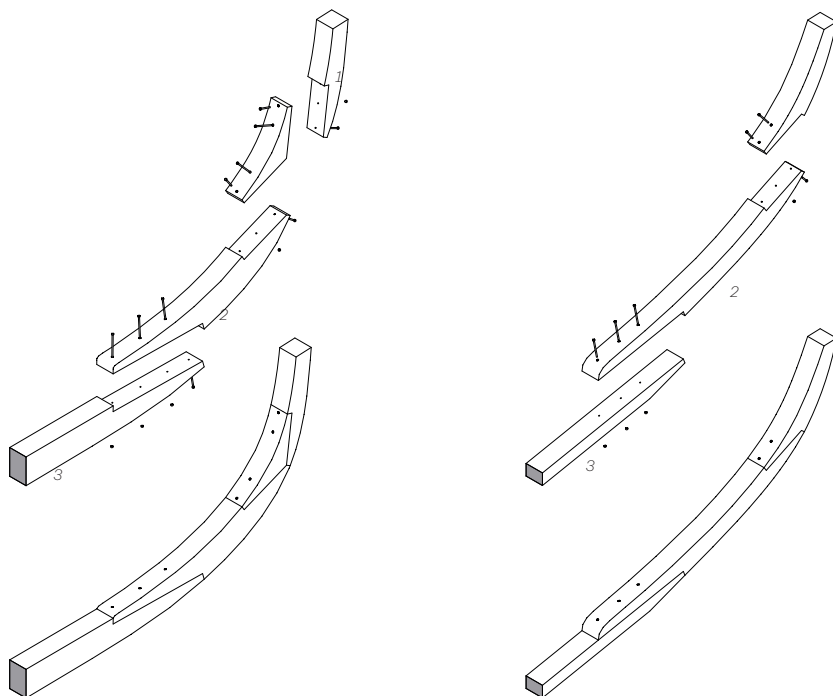


A gauche, assemblage à tenon: 1 étrave, 2 brion, 3 quille, 4 bordé.
 Au centre, assemblage à mi-bois: 1 étrave, 2 brion, 3 quille, 4 bordé.
 A droite, brion saillant: 1 étrave, 2 brion, 3 quille, 4 bordé.

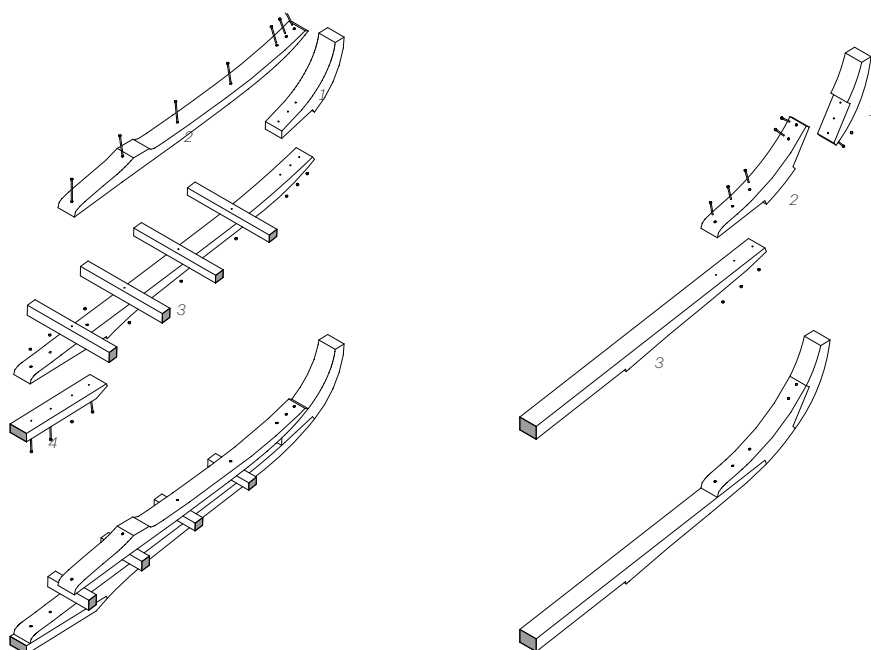


A gauche, marsouin & plastron: 1 étrave, 2 brion, 3 quille, 4 marsouin, 5 plastron, 6 bordé.
 Au centre, marsouin, contre-étrave, apôtres: 1 étrave, 2 quille, 3 carlingue, 4 marsouin, 5 contre-étrave, 6 apôtres, 7 bordé.
 A droite, étrave ployée: 1 étrave, 2 quille, 3 épaisseur intérieure, 4 bordé.

ALLONGES D'ÉTRAVE

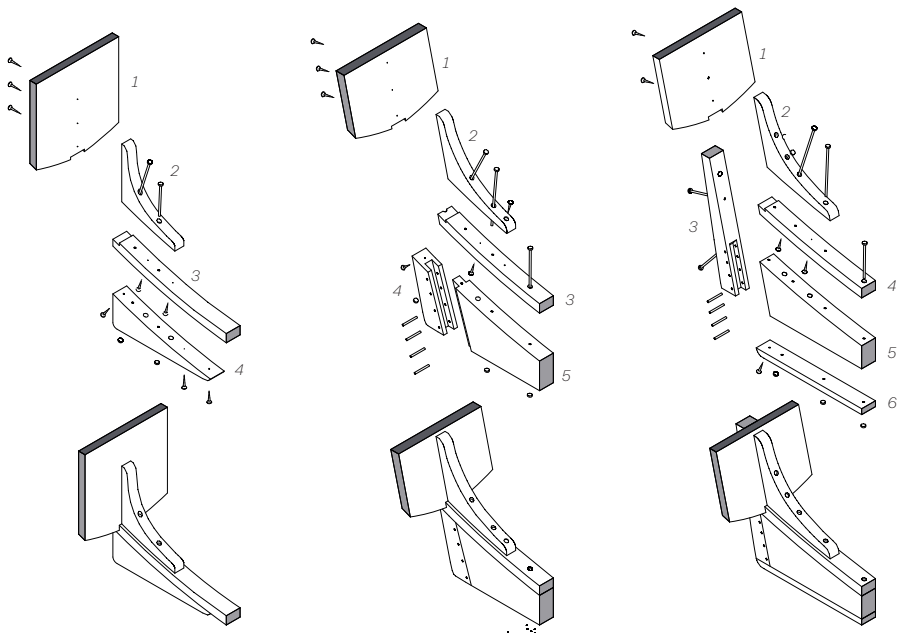


A gauche, allonge d'étrave avec quille longue: 1 étrave, 2 allonge d'étrave, 3 quille longue.
A droite, allonge d'étrave avec quille plate: 1 étrave, 2 allonge d'étrave, 3 quille plate.



A gauche, allonge d'étrave renforcée par une carlingue partielle: 1 étrave, 2 carlingue, 3 allonge d'étrave, 4 quille plate
A droite, allonge d'étrave avec quille plate formant l'allonge: 1 étrave, 2 allonge d'étrave, 3 quille plate.

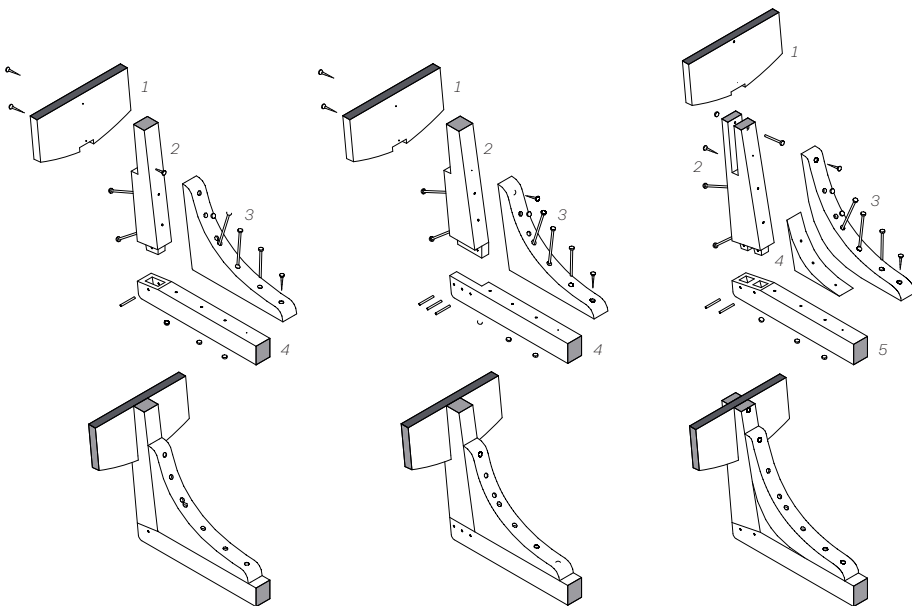
ÉTAMBOTS



A gauche, aileron arrière simple, 1 tableau, 2 courbe, 3 quille, 4 aileron.

Au centre, aileron avec faux-étambot: 1 tableau, 2 courbe, 3 quille, 4 faux-étambots, 5 aileron.

A droite, faux-étambot & latte de quille: 1 tableau, 2 courbe, 3 faux-étambot, 4 quille, 5 aileron, 6 latte

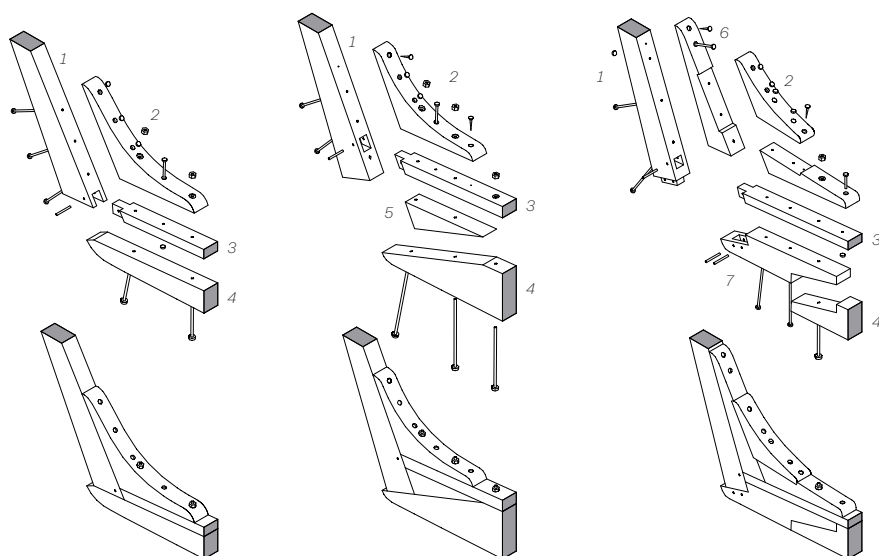


A gauche, étambot à tenon sur quille: 1 tableau, 2 étambot, 3 courbe, 4 quille.

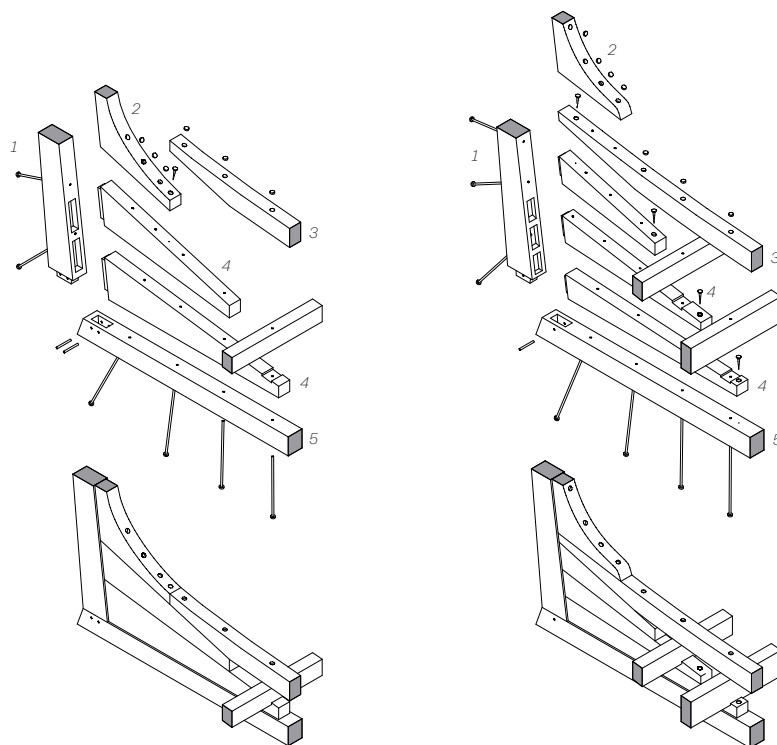
Au centre, assemblage à mi-boist: 1 tableau, 2 étambot, 3 courbe, 4 quille.

A droite, assemblage à double tenon: 1 tableau, 2 étambot à fourche, 3 marsouin, 4 remplissage, 5 quille.

ÉTAMBOTS

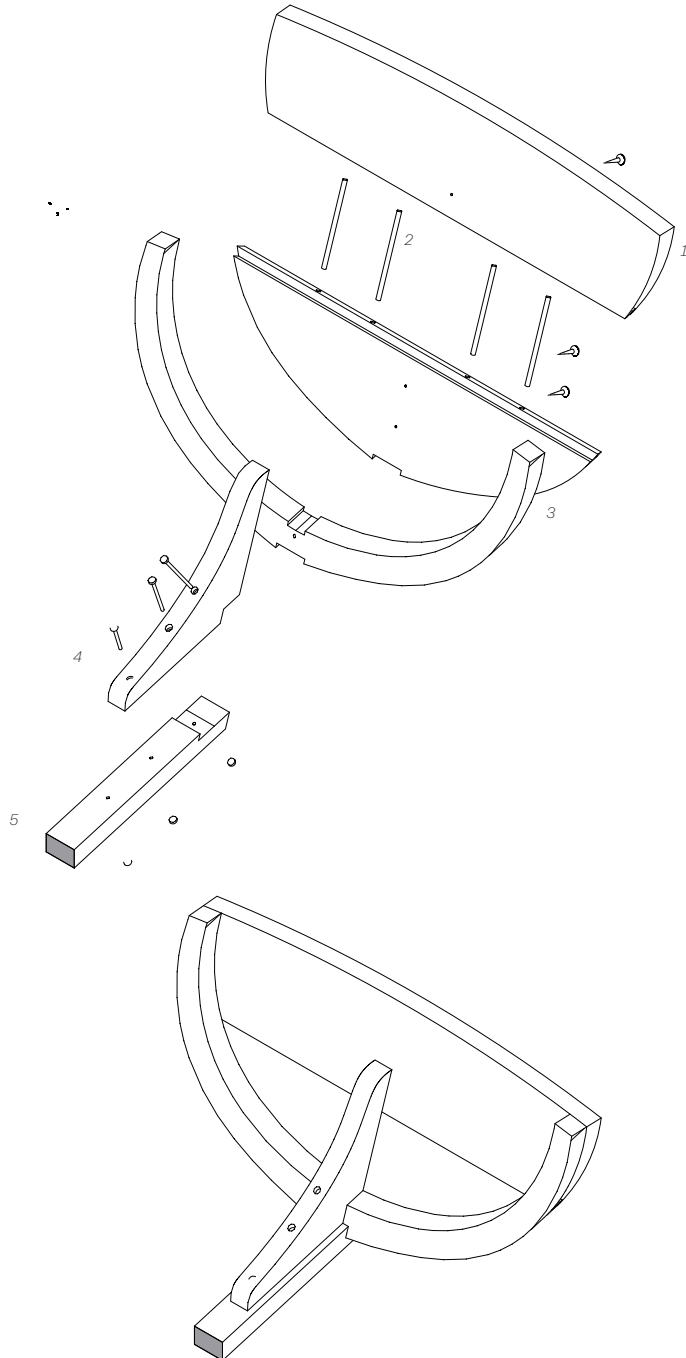


Différentes modes d'assemblage de l'étambot sur quille avec quille plate & lest: 1 étambot, 2 courbe, 3 contre quille, 4 quille lest, 5 remplissage, 6 contre-étambot, 7 garni formant le talon



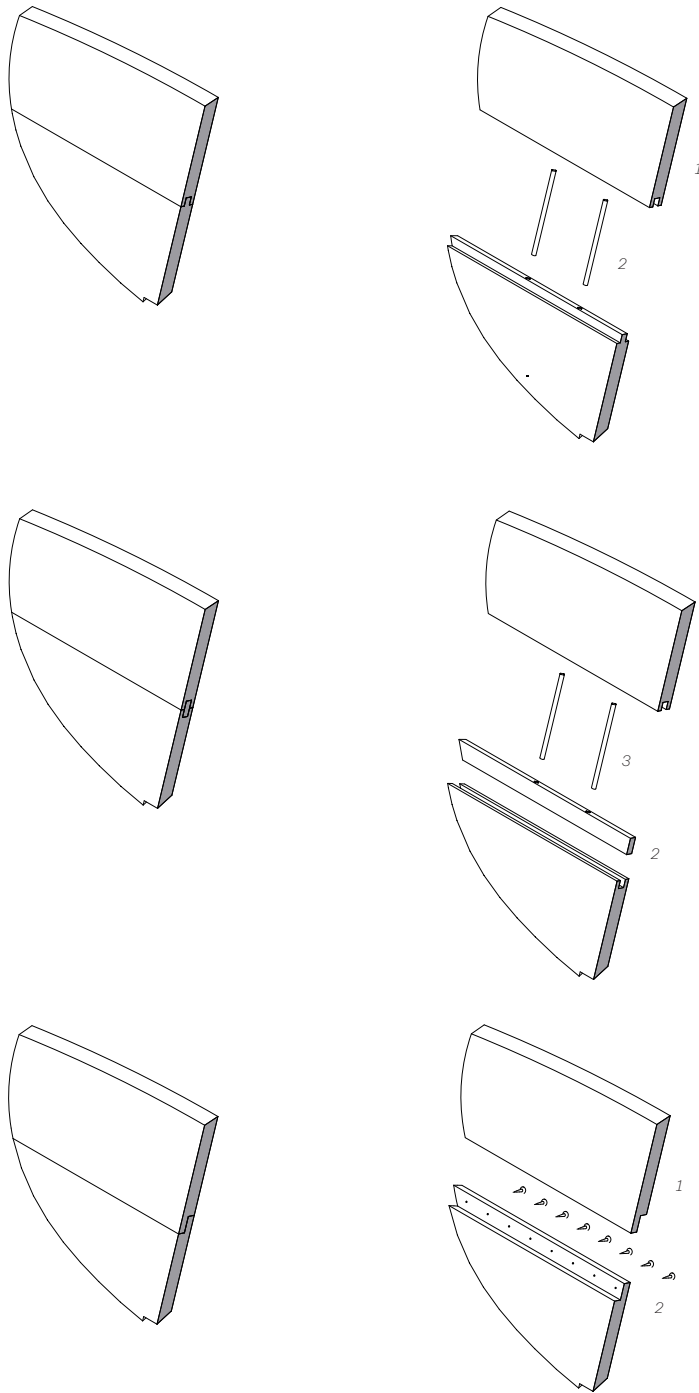
Massifs arrière avec l'extrémité de la carlingue libre ou engagé: 1 étambot, 2 courbe, 3 carlingue, 4 remplissage, 5 quille.

TABLEAUX



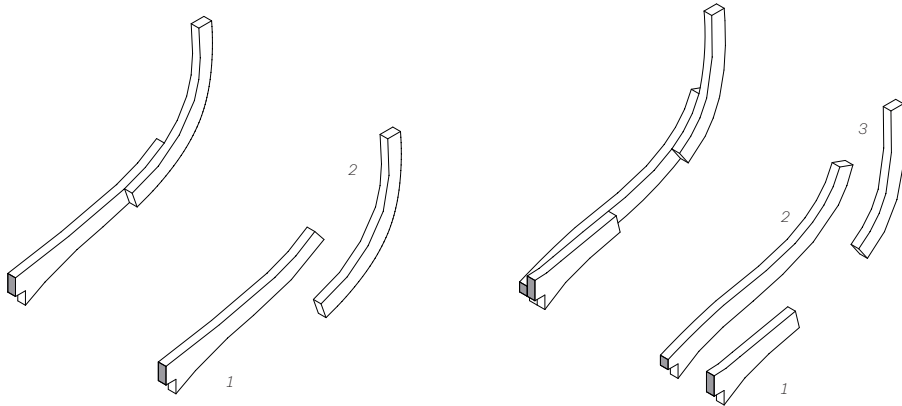
Montage courant d'un tableau: 1 tableau, 2 chevilles d'assemblage, 3 cadre, 4 courbe, 5 quille.

TABLEAUX

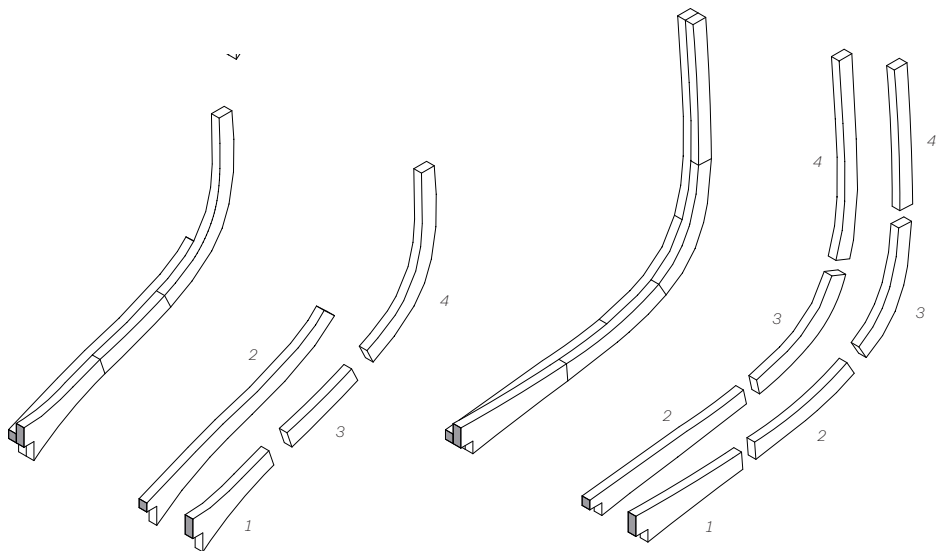


En haut, assemblage rainé: 1 tableau, 2 chevilles d'assemblage.
Au centre, assemblage avec fausse languette: 1 tableau, 2 languette, 3 chevilles d'assemblage.
En bas, assemblage mi-bois: 1 tableau, 2 vis.

MEMBRURES DÉCOUPÉES

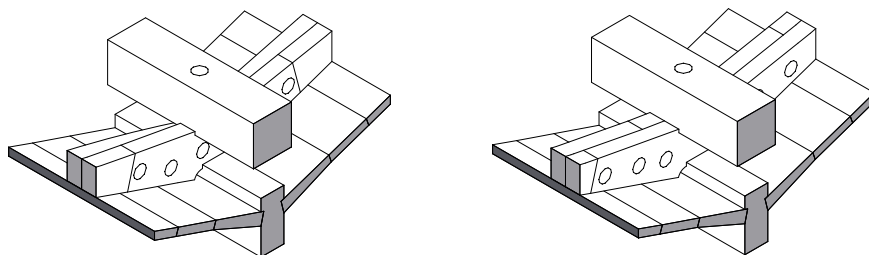
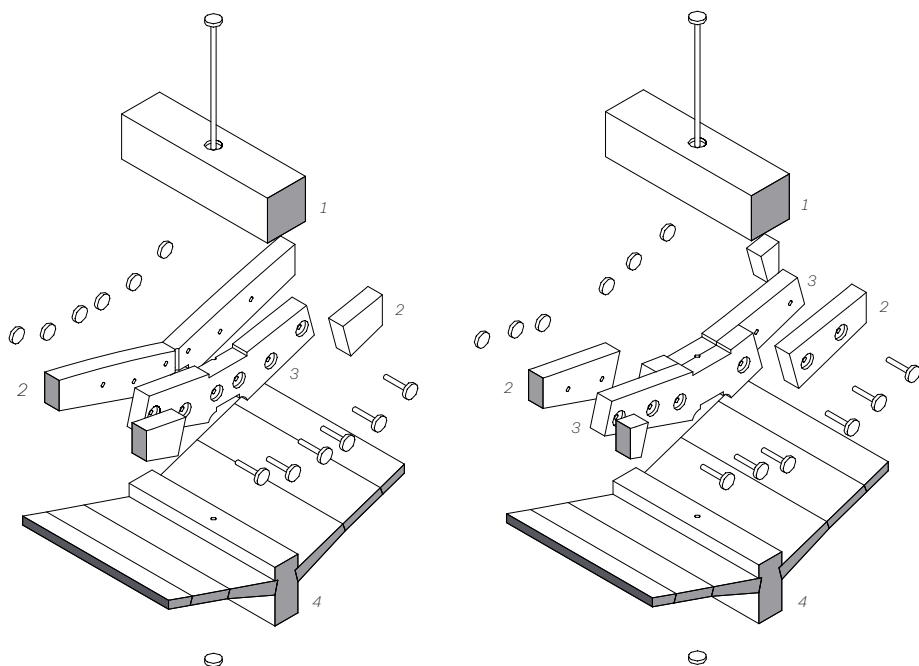


*A gauche, type youyou: 1 varangue, 2 allonge.
A droite, type petites unités: 1 varangue, 2 allonge des fonds, 3 allonge des hauts.*



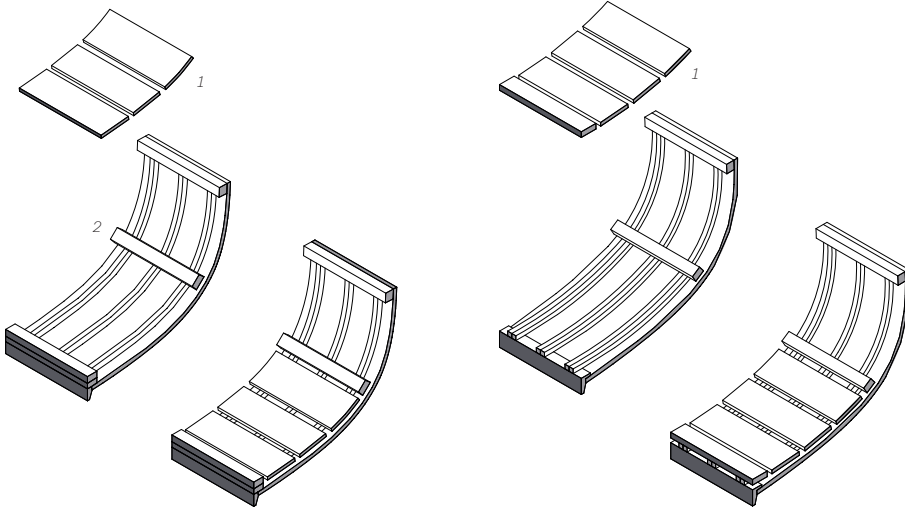
*A gauche, type moyenne unité: 1 varangue, 2 allonge des fonds, 3 garni, 4 allonge des hauts.
A droite, type grandes unités: 1 varangue, 2 allonge des fonds, 3 genou, 4 allonge des hauts.*

MEMBRURES DÉCOUPÉES

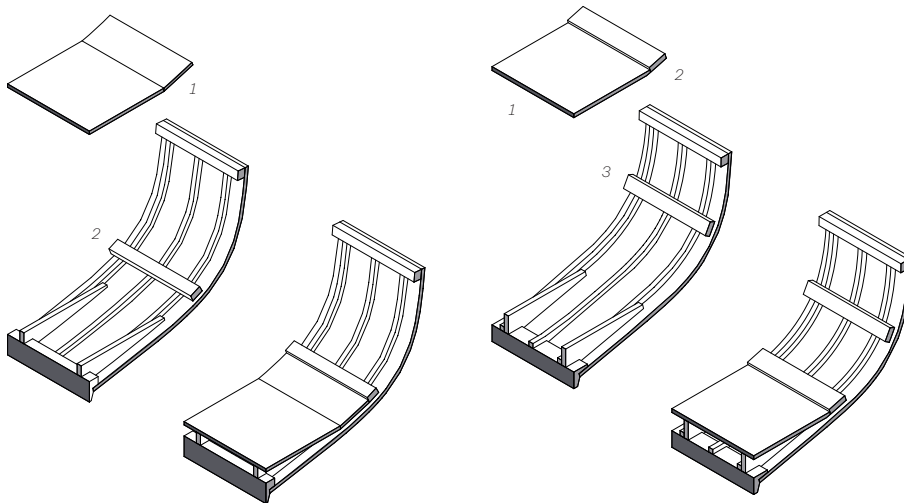


*A gauche, montage varangue simple: 1 carlingue, 2 membre, 3 varangue, 4 quille.
A droite, montage varangue double: 1 carlingue, 2 membre, 3 varangue, 4 quille.*

MEMBRURES PLOYÉES

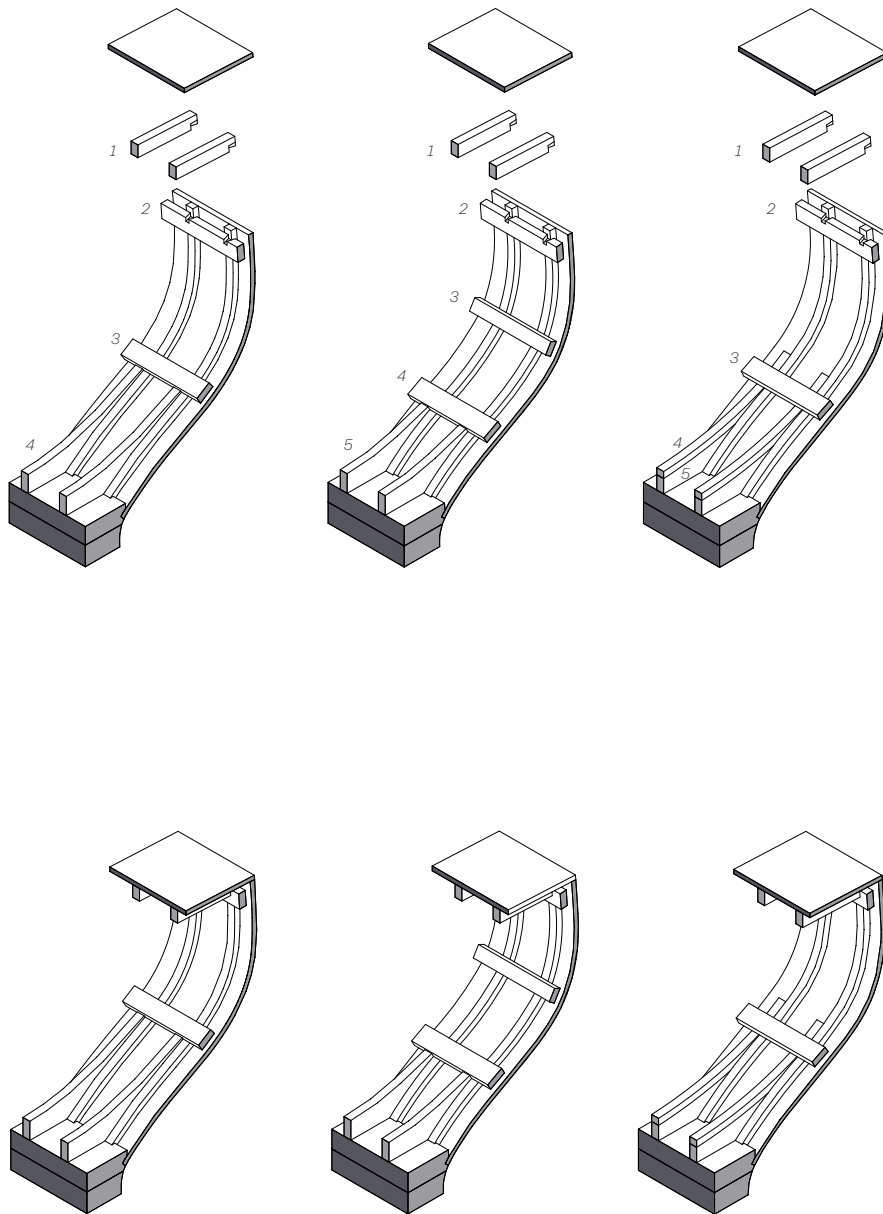


*A gauche, membrure ployée entallée dans la quille avec carlingue: 1 vaigres, 2 serre de bouchain.
A droite, membrure ployée demi doublée: 1 vaigres, 2 serre de bouchain.*



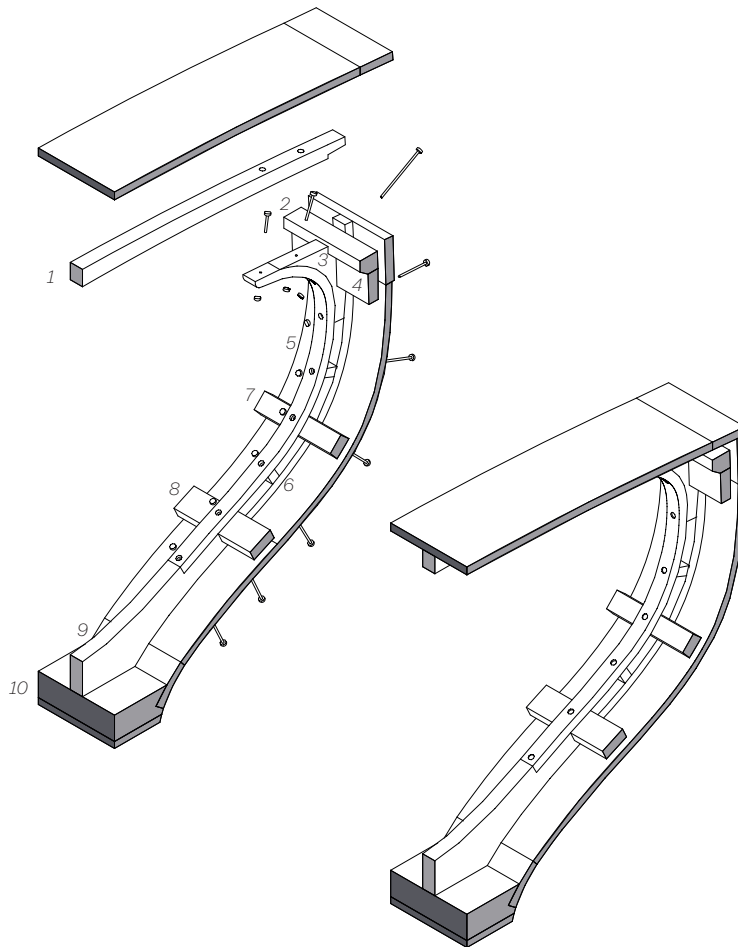
*A gauche, membrure ployée entoné dans la quille: 1 plancher, 2 serre de bouchain.
A droite, membrure ployée demi doublée: 1 plancher, 2 serre des fonds, 3 serre des flancs.*

MEMBRURES PLOYÉES



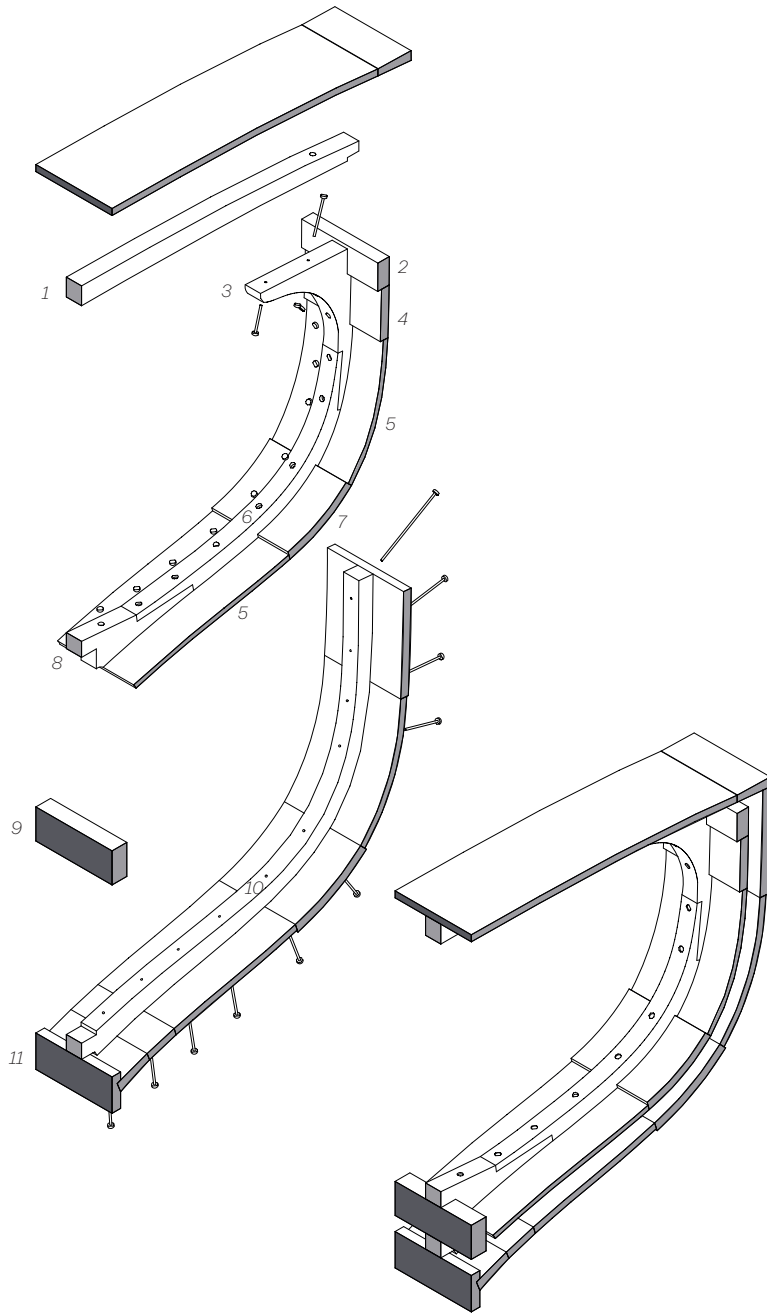
*A gauche, varangue découpée engagée sous les serres: 1 barrot, 2 bauquière, 3 serre de bouchain, 4 varangue.
Au centre, varangue découpée engagée sous les serres: 1 barrot, 2 bauquière, 3 serre des flancs, 4 serre des fonds, 5 varangue.
A droite, varangue composée: 1 barrot, 2 bauquière, 3 serre de bouchain, 4 membrure, 5 garni.*

PORQUES



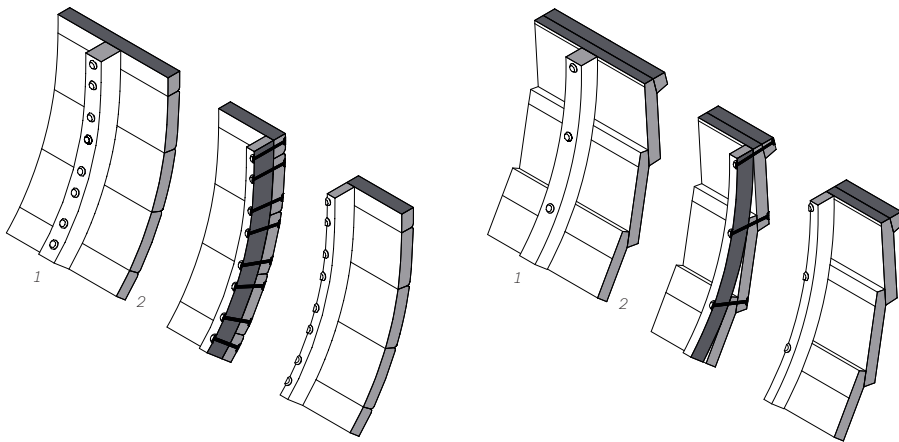
Porques: 1 barrot, 2 bauquière, 3 garni, 4 sous bauquière, 5 membrure ployée, 6 taquet, 7 serre des flancs, 8 serre des fonds, 9 varangues, 10 quille.

PORQUES

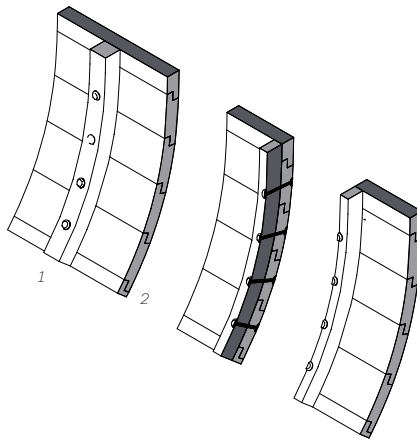


Porques: 1 barrot, 2 bauquière, 3 courbe de barrot, 4 sous bauquière, 5 vaigrage, 6 allonge, 7 empatures, 8 varangue, 9 chapeau, 10 membrure, 11 quille.

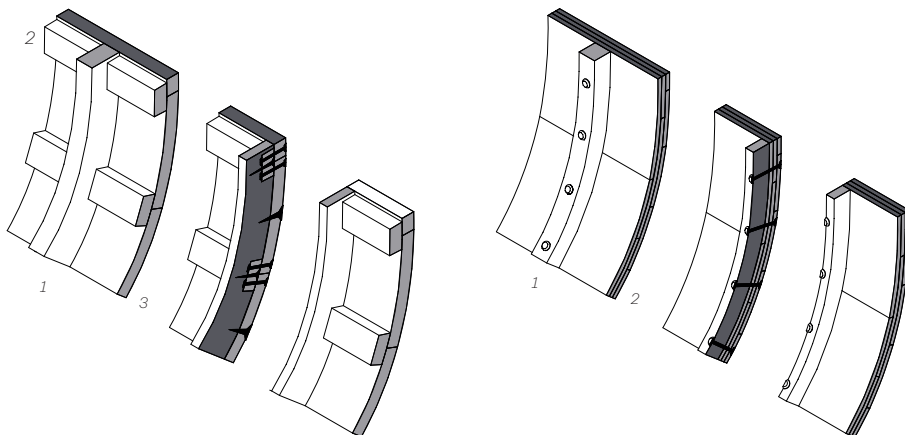
BORDÉS DE CARÈNE



*A gauche, bordé de carène à franc-bord: 1 membrure, 2 bordé.
A droite, bordé de carène à clins: 1 membrure, 2 bordé.*

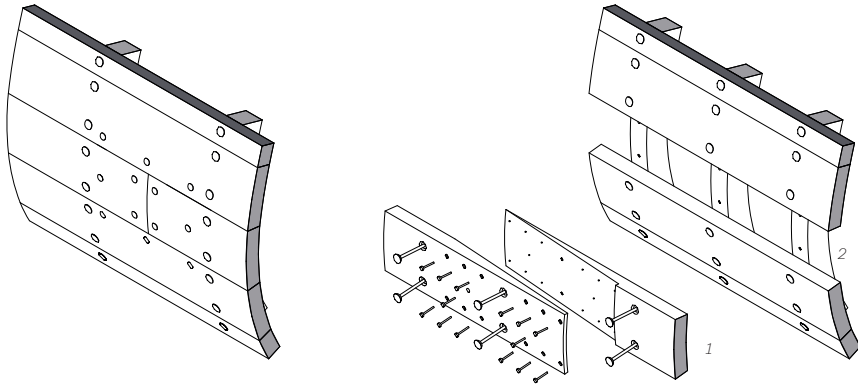


Bordé de carène à mi-bois: 1 membrure, 2 bordé.

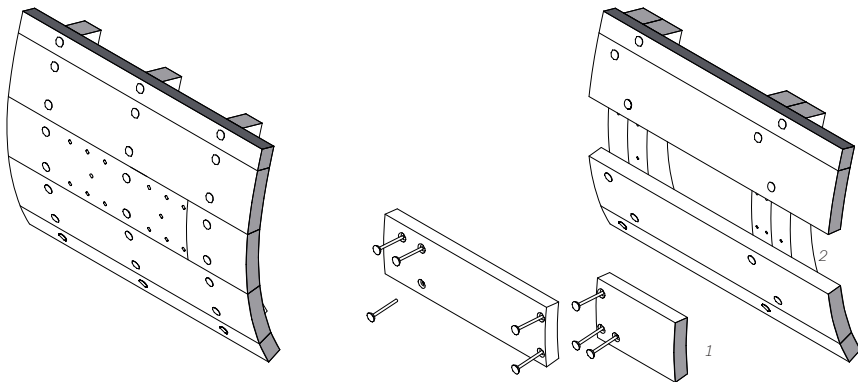


*A gauche, bordé de carène sur lisses: 1 membrure, 2 lisses, 3 bordé.
A droite, bordé de carène multiple: 1 membrure, 2 bordé.*

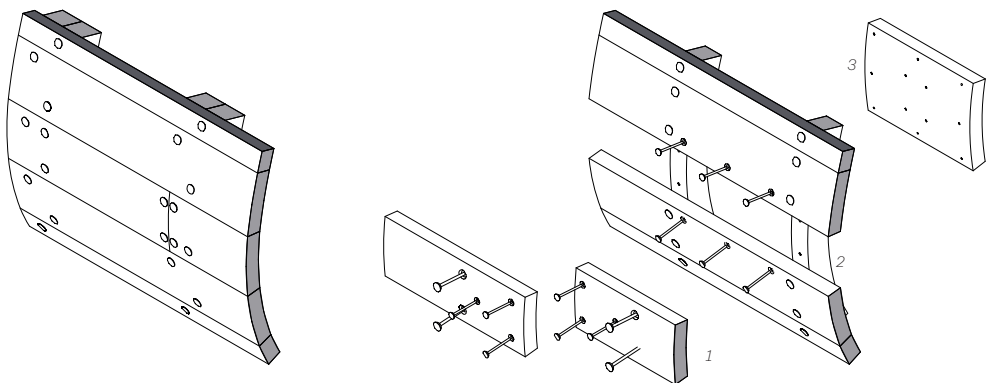
BORDÉS DE CARÈNE



Ecarts des virures, écart long sur l'épaisseur: 1 virure, 2 membrure.

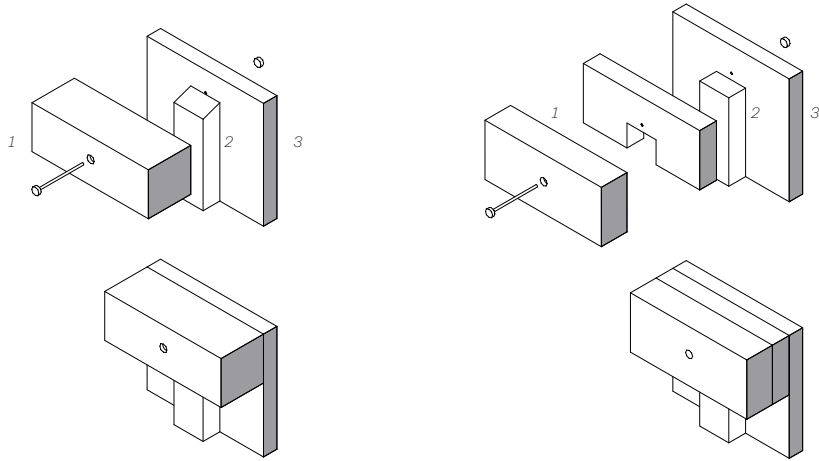


Ecarts des virures, écart franc sur membre: 1 virure, 2 membrure.

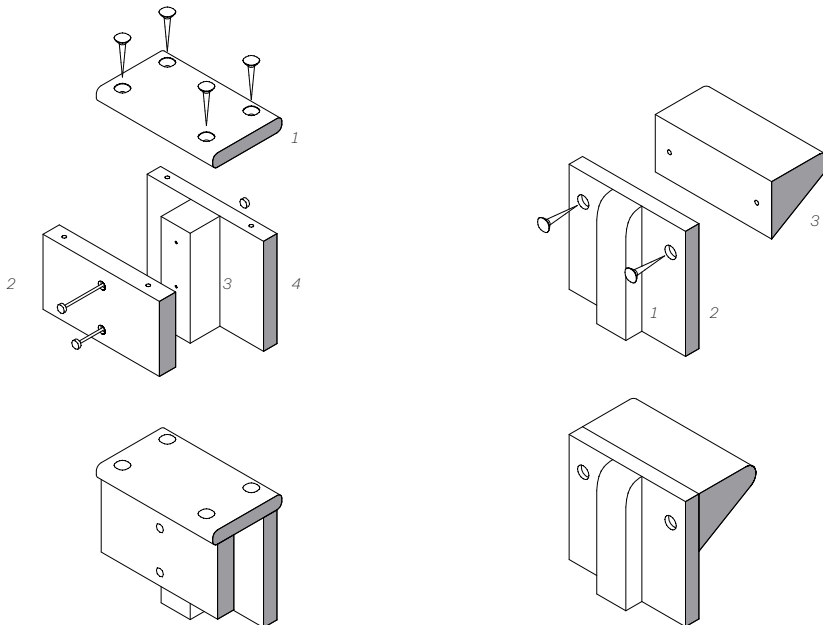


Ecarts des virures, écart franc sur garni: 1 virure, 2 membrure, 3 garni.

SERRES DE PLAT-BORD

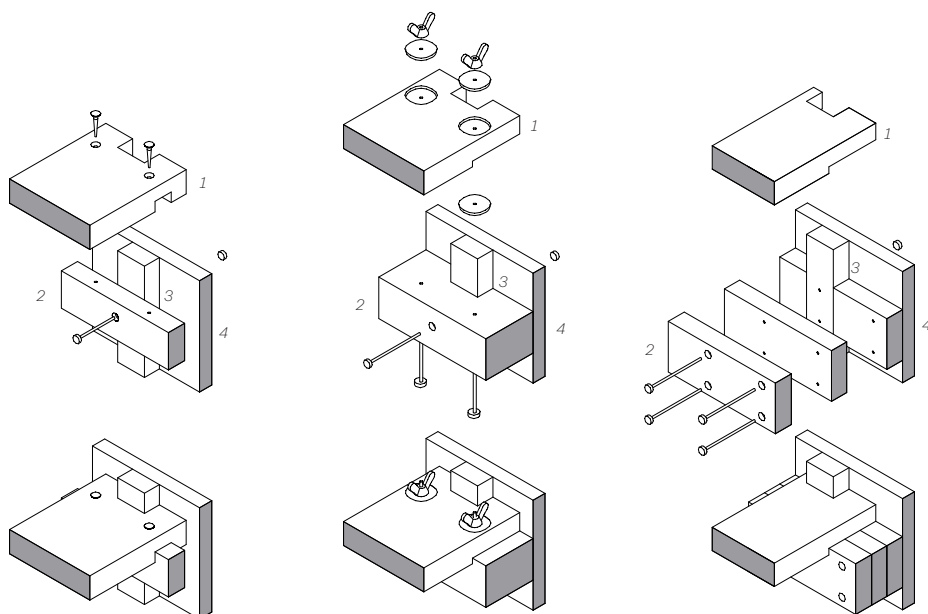


A gauche, serre massive type youyou: 1 serre, 2 membrure, 3 bordé.
A droite, serre composée type youyou: 1 serre, 2 membrure, 3 bordé.

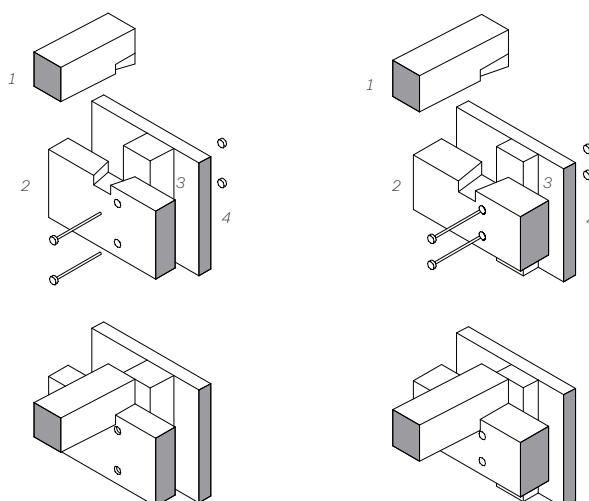


A gauche, serre & plat-bord type pêche: 1 goutrière, 2 serre, 3 membrure, 4 bordé.
A droite, serre extérieure type canoë: 1 membrure, 2 bordé, 3 serre.

SERRES DE BANCS & LES BAUQUIÈRES

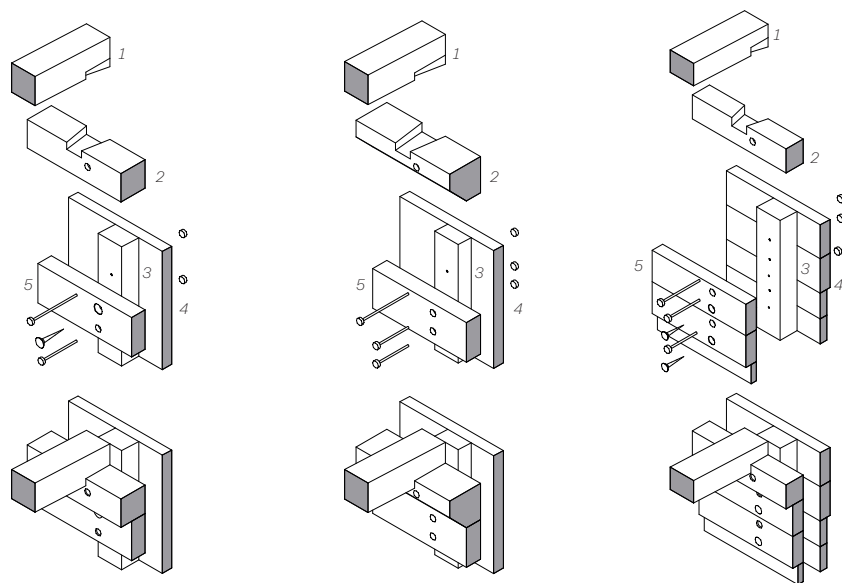


A gauche, serre de banc fixe: 1 banc, 2 bauquière, 3 membrure, 4 bordé.
 Au centre, serre de banc mobile: 1 banc, 2 bauquière, 3 membrure, 4 bordé.
 A droite, serre de banc composée: 1 banc, 2 bauquière, 3 membrures, 4 bordé.

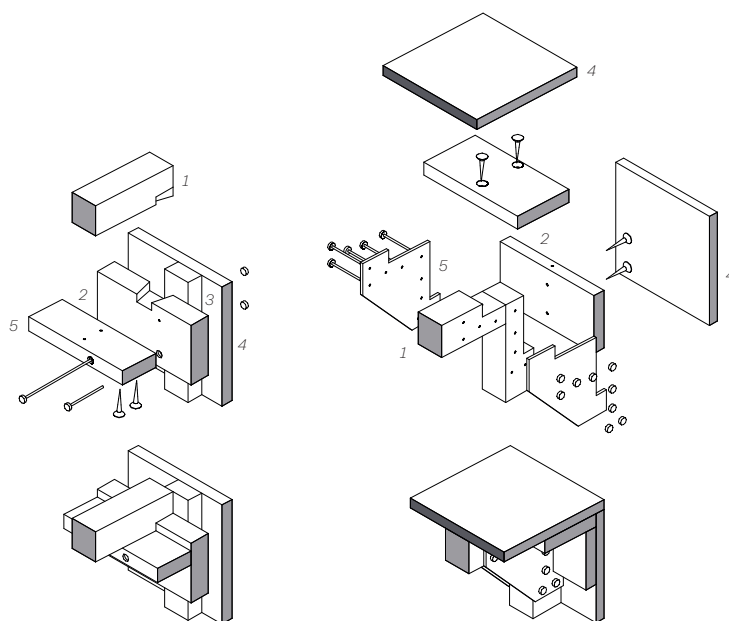


A gauche, bauquière type pêche: 1 barrot, 2 bauquière, 3 membrure, 4 bordé.
 A droite, bauquière type yacht: 1 barrot, 2 bauquière, 3 membrure, 4 bordé.

BAUQUIÈRES COMPOSÉES

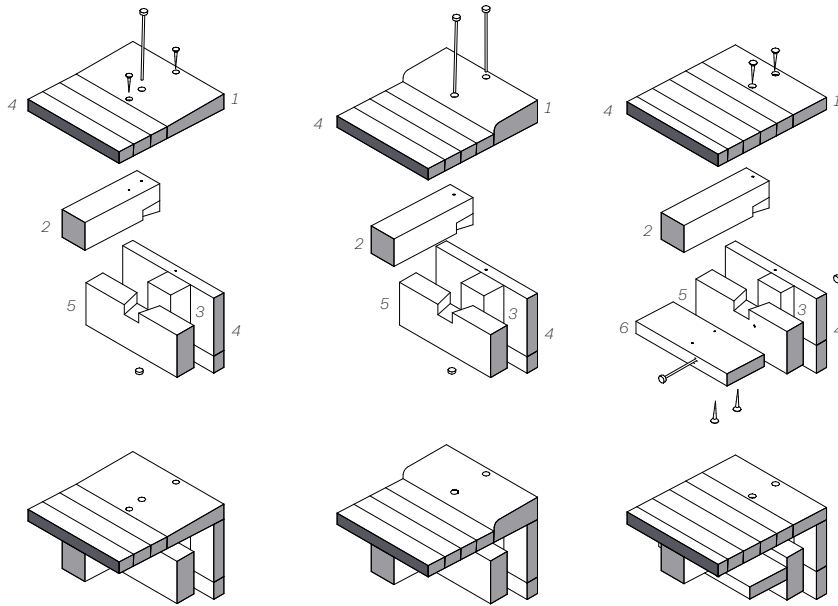


Différentes section avec sous-bauquière: 1 barrot, 2 bauquière, 3 membrure, 4 bordé, 5 sous-bauquière.



A gauche, bauquière composée type américain: 1 barrot, 2 bauquière, 3 membrure, 4 bordé, 5 contre-bauquière.
A droite, bauquière composée type vedette rapide: 1 barrot, 2 bauquière, 3 membrure, 4 bordé, 5 renforts métallique.

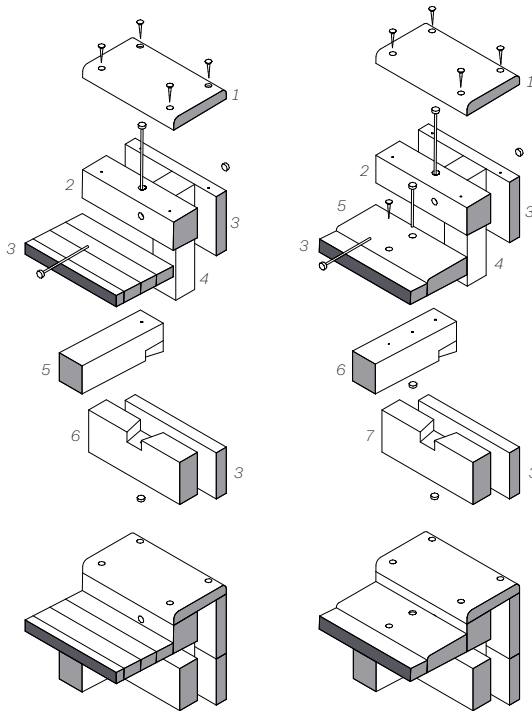
GOUTTIÈRES



A gauche, gouttière avec virure plate: 1 virure, 2 barrot, 3 membrure, 4 bordé, 5 bauquière.

Au centre, gouttière avec virure épaisse: 1 virure, 2 barrot, 3 membrure, 4 bordé, 5 bauquière.

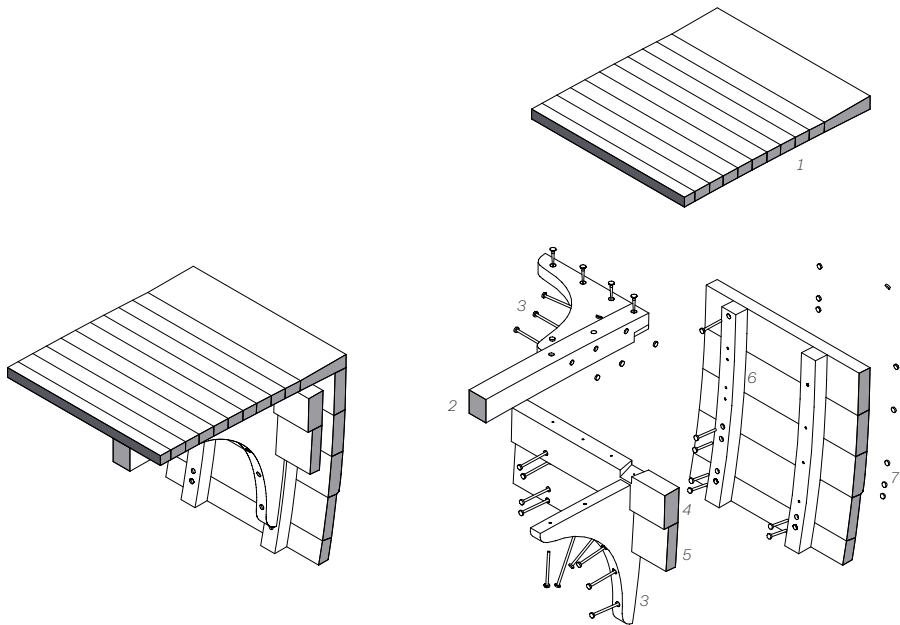
A droite, gouttière avec plat-bord & contre-bauquière: 1 barrot, 2 bauquière, 3 membrure, 4 bordé, 6 contre-bauquière.



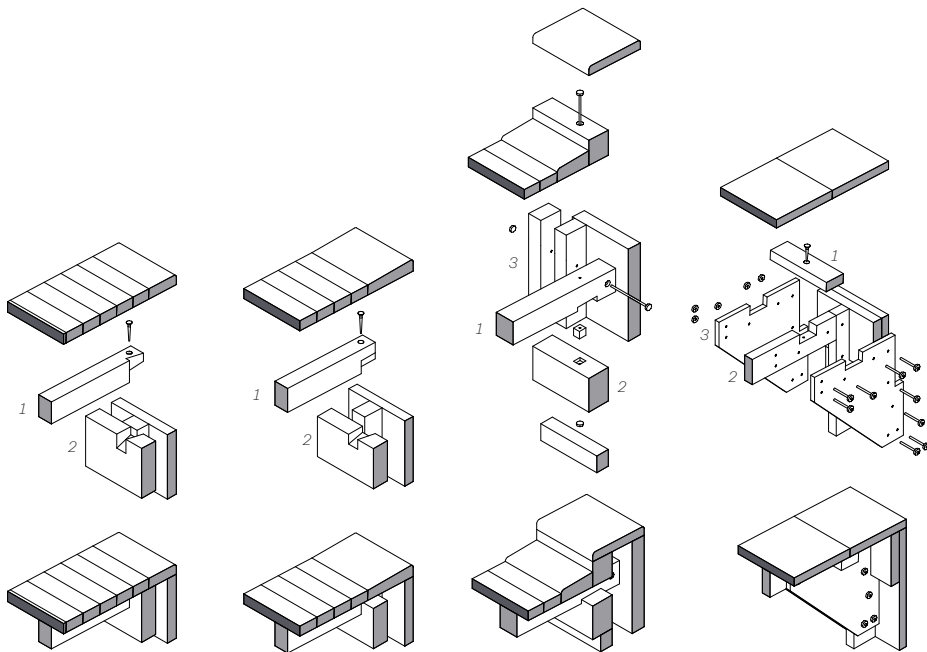
A gauche, gouttière avec fourrure & plat-bord: 1 gouttière, 2 fourrure, 3 bordé, 4 membrure, 5 barrot, 6 bauquière.

A droite, gouttière avec virure, fourrure et plat-bord: 1 gouttière, 2 fourrure, 3 bordé, 4 membrure, 5 virure, 6 barrot, 7 bauquière.

BARROTS



Assemblage des courbes de barrot horizontales et verticales: 1 bordé de pont, 2 barrot, 3 courbe, 4 bauquière, 5 sous-bauquière, 6 membrure, 7 bordé de carène.



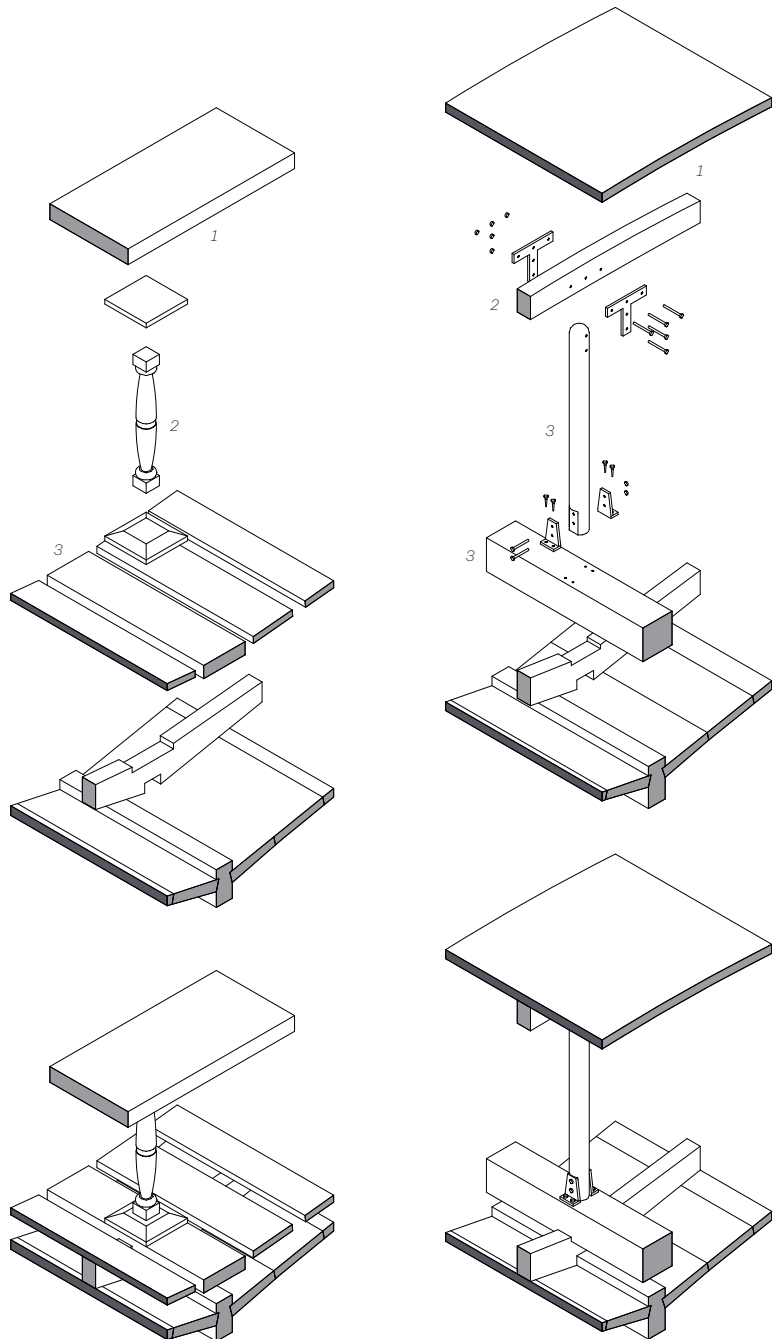
A gauche, mode d'assemblage par queue d'aronde, petites unités: 1 barrot, 2 bauquière.

Au centre gauche, mode d'assemblage par queue d'aronde, moyennes unités: 1 barrot, 2 bauquière.

Au centre droite, mode d'assemblage par dé encastré, grandes unités: 1 barrot, 2 bauquière, 3 membrure.

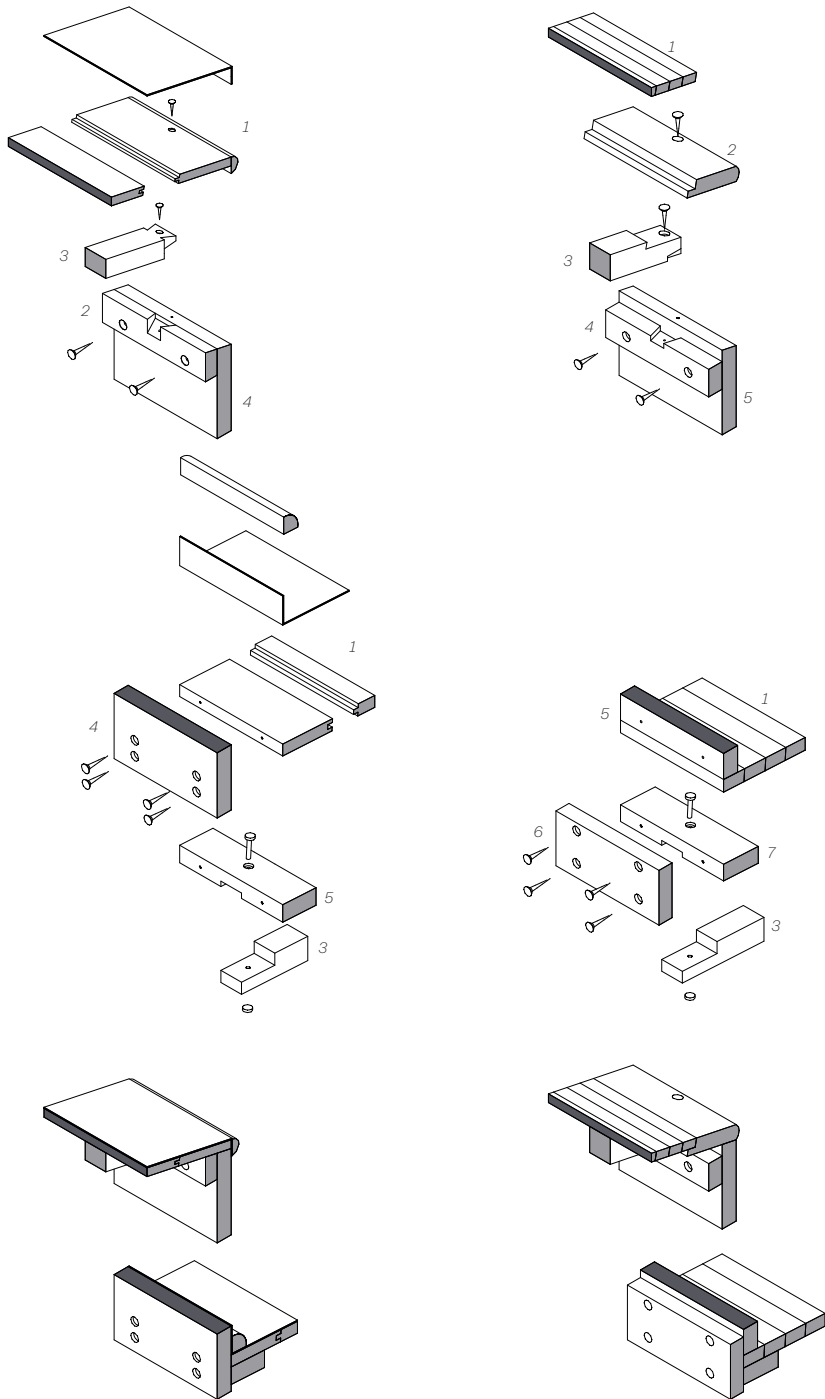
A droite, mode d'assemblage par gousset: 1 élongi, 2 barrot, 3 gousset.

ÉPONTILLES



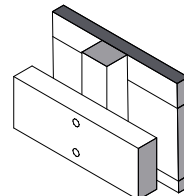
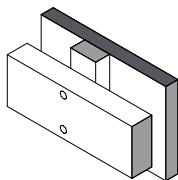
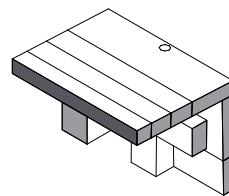
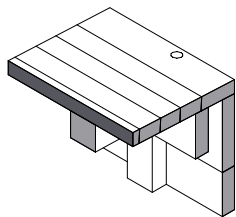
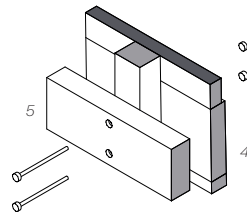
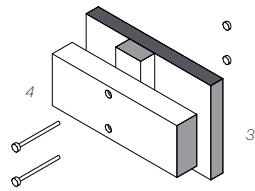
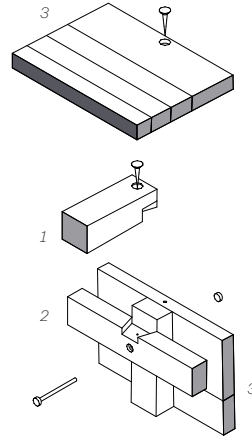
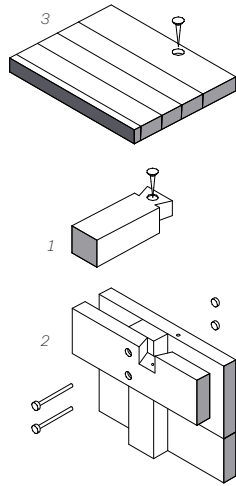
*A gauche, épontille sur coque non pontée: 1 banc, 2 épontille, 3 carlingue.
A droite, épontille sur coque pontée: 1 pont, 2 barrot, 3 épontille, 4 carlingue.*

ROUFS



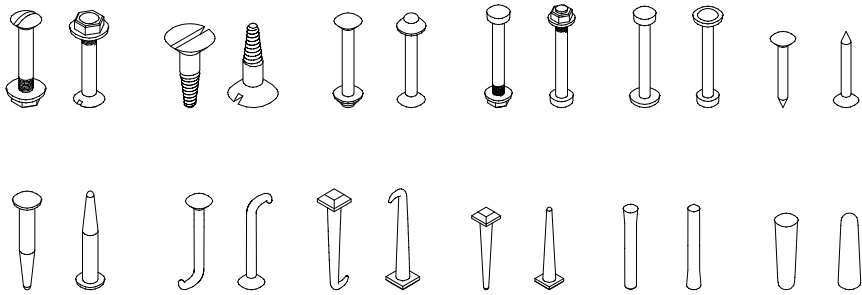
A gauche, rouf de petite unités: 1 pont entoilé, 2 serre, 3 barrot, 4 hiloire, 5 hiloire renversée.
 A droite, rouf de moyenne unités: 1 pont calfaté, 2 gouttière, 3 barrot, 4 serre, 5 hiloire, 6 contre hiloire, 7 hiloire renversée.

CHÂTEAUX

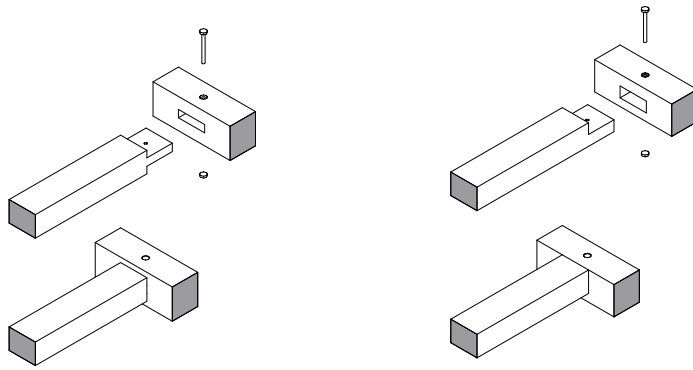


A gauche, château rigide: 1 barrot, 2 serre, 3 bordé, 4 bauquière.
 A droite, château souple: 1 barrot, 2 serre, 3 bordé, 4 preceinte, 5 bauquière.

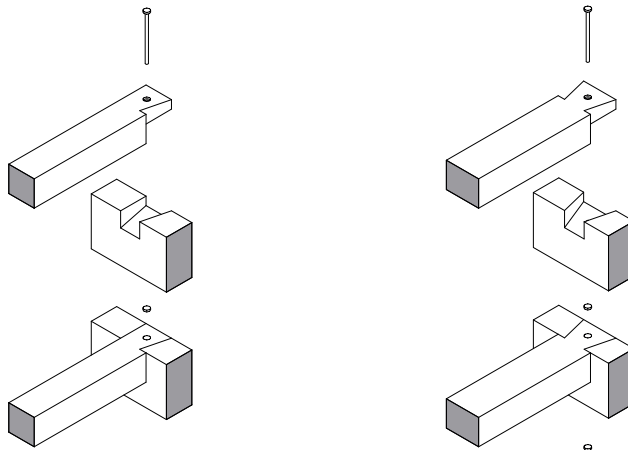
TYPES D'ASSEMBLAGE



Différents type de chevillage, pointe, vis, boulon, cheville, caravelle, gournable, goujon.

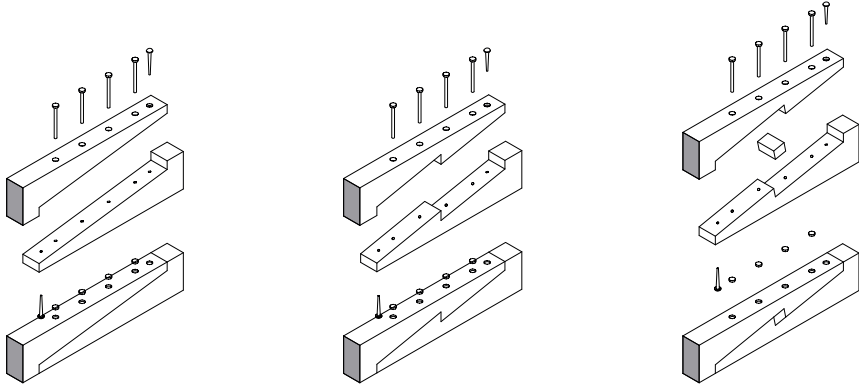


A gauche, assemblage à tenon droit normal. A droite, assemblage à mi-bois.

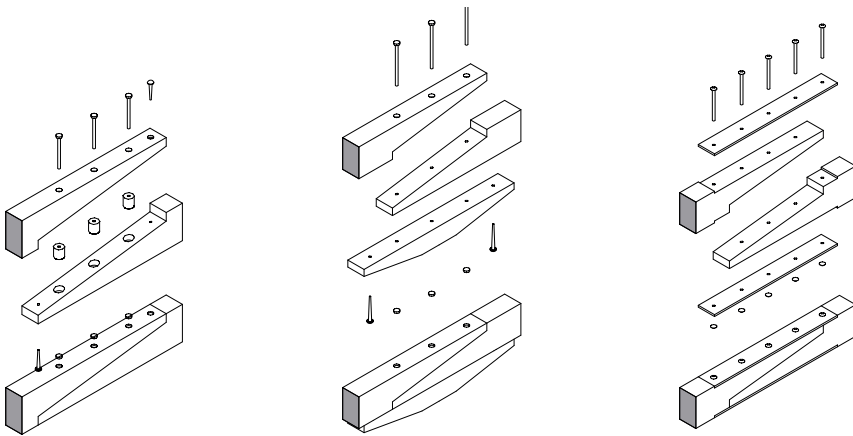


A gauche, assemblage à queue d'arronde simple. A droite, assemblage à queue d'arronde double.

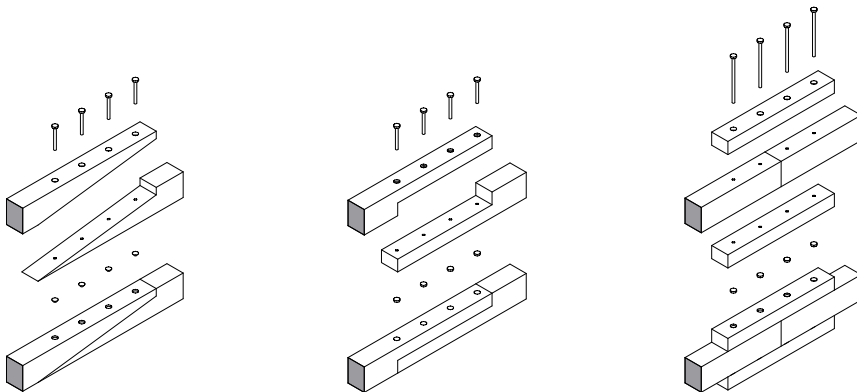
ÉCARTS



A gauche, écart long droit. Au centre, écart long à redan. A droite, écart long à redan & clé.

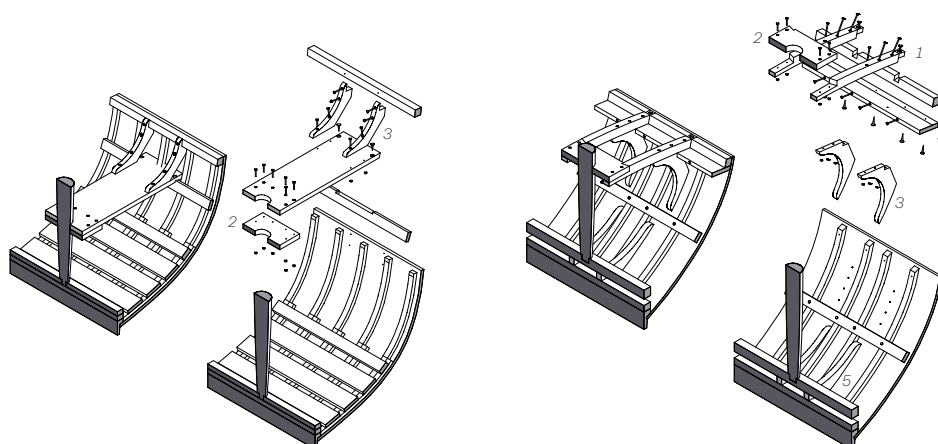


A gauche, écart long droit avec dés. Au centre, renfort par élongis latéral. A droite, renfort par lattes métalliques.

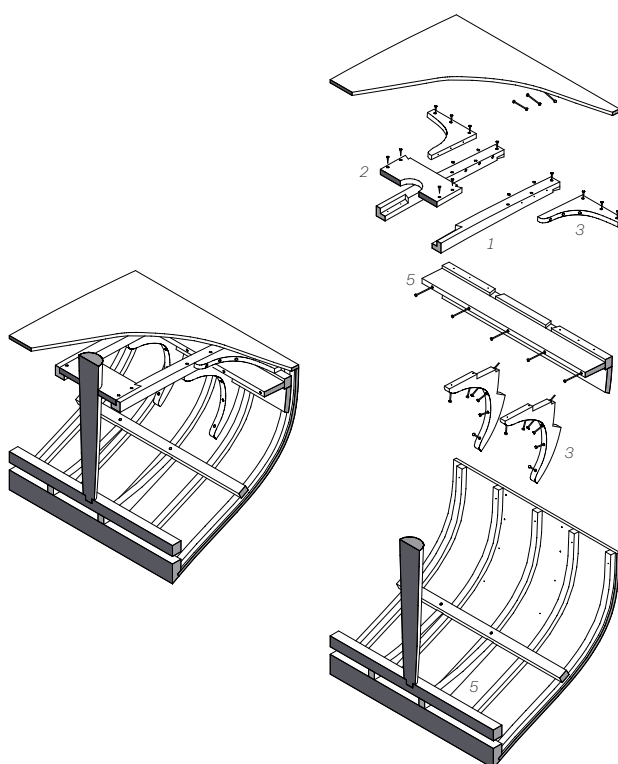


A gauche, écart long de bordés. Au centre, écart à mi-bois. A gauche, écart franc avec joue.

RENFORTS DE MÂTS

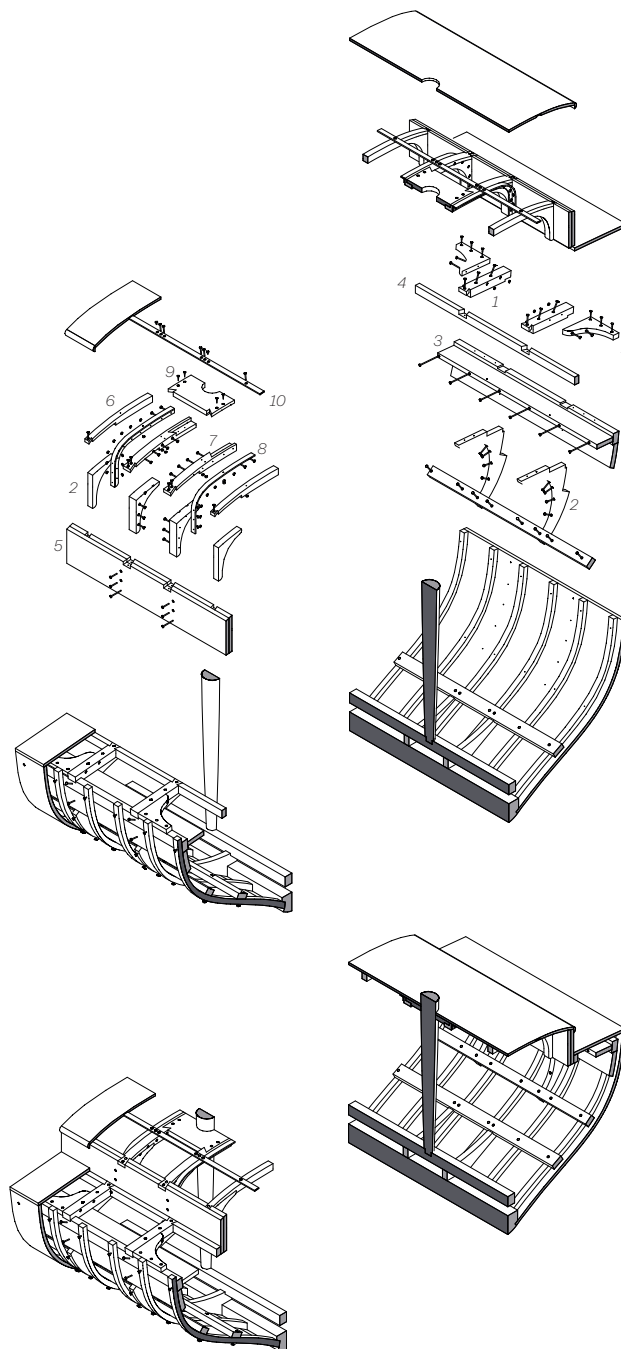


A gauche, banc de mât: 1 banc de mât, 2 garni d'étambrai, 3 équerre de banc, 4 carlingue.
A droite, barrotage de mât type dinghy: 1 barrot de mât, 2 étambrai, 3 courbes verticales, 4 contre-serre, 5 varangues.



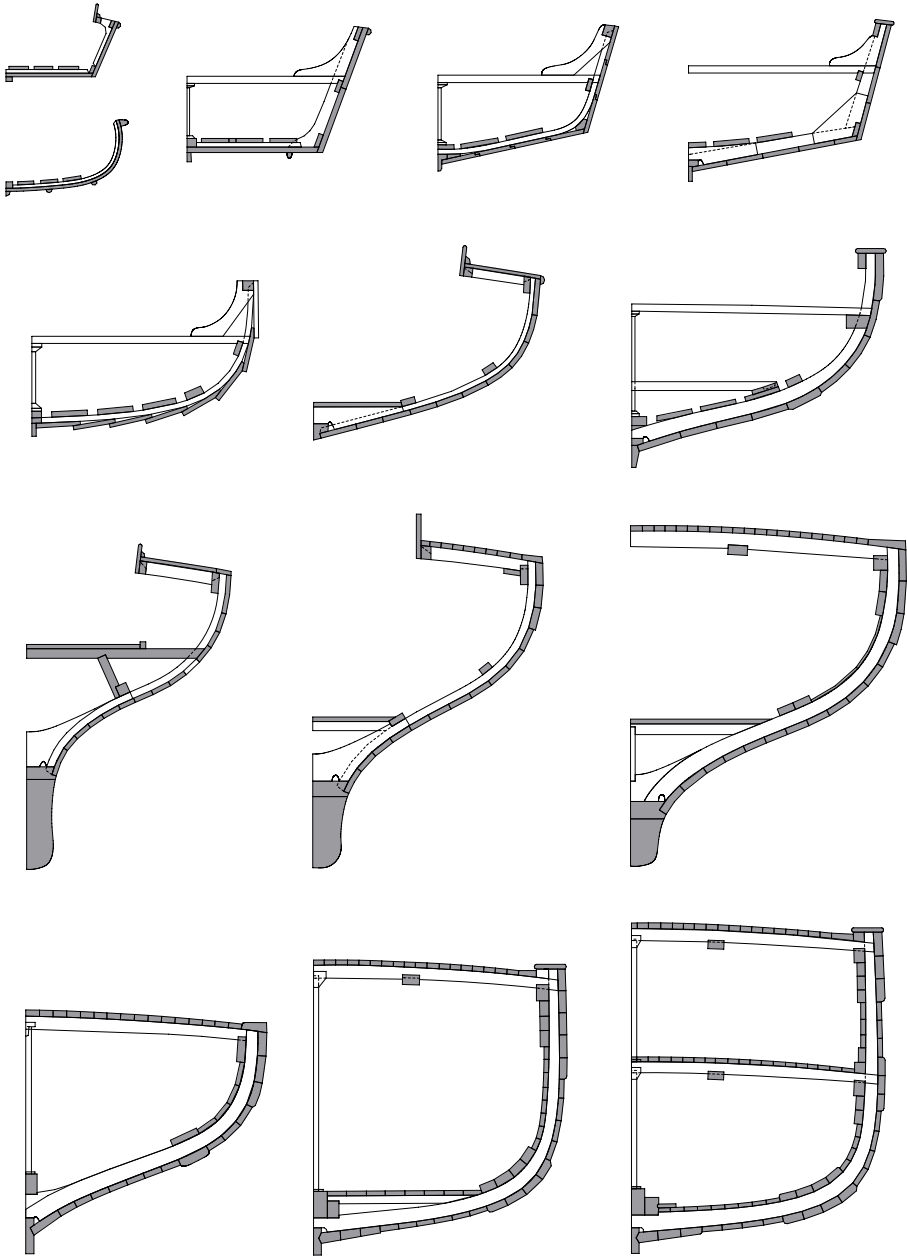
Yacht ponté: 1 barrot de mât, 2 étambrai, 3 courbes, 4 contre bauquière, 5 varangues de mât.

RENFORTS DE MÂTS



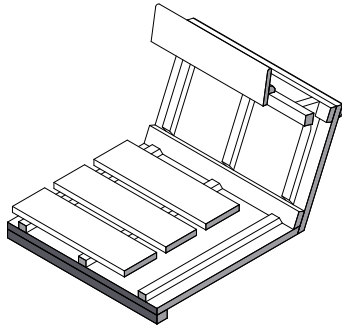
Yacht avec rouf: 1 demi barrot de mâ, 2 courbe, 3 contre-bauquière, 4 hiloire renversée, 5 hiloire doublée, 6 barrotins de rouf, 7 barrots de mâ, 8 L métallique renforçant les barrots & courbe de mâ sur le rouf, 9 étambrai, 10 fer plat renforçant le rouf longitudinalement.

SECTIONS TYPES

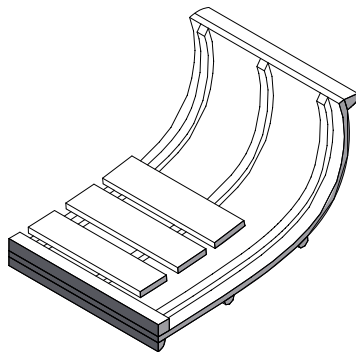


Tous ces assemblages et détails constructifs, corréllé à l'évolution de l'architecture naval ont produit au fil des siècles un panel conséquent de type d'embarcation en tout genre, des simples barques aux bateaux pontés. On étudiera ici les relations qu'il peut y avoir entre les types de carène d'une part, leur forme et la spatialité qui en découle, et d'autre part la fonction de ces embarcations.

PÉRISSOIRE & CANOË

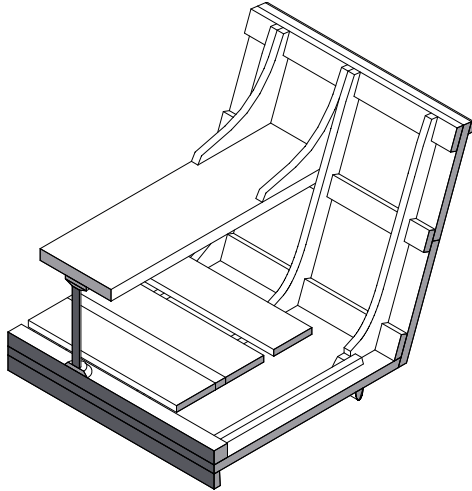


Le pirogue est l'embarcation la plus basique du point de vue de sa complexité, c'est un canot long d'environ 4 mètre, destiné à un seul utilisateur. Il ne possède pas de voile et nécessite l'utilisation de rame. Sa légèreté en fait un bateau relativement instable et dangereux. Il n'y a pas d'éléments notoire à souligner par rapport à la structure.

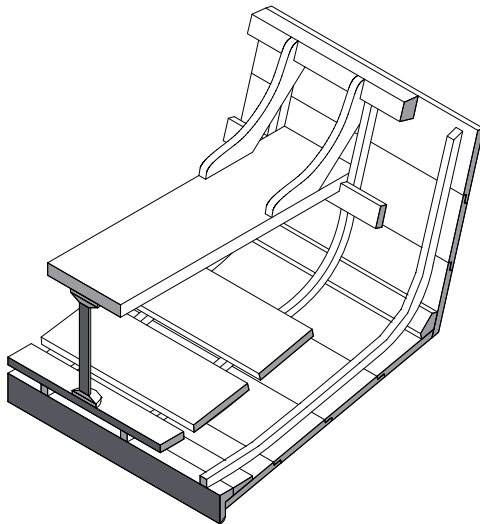


Le canoë est aussi un type d'embarcation légère destiné à la navigation de plaisance dans des zones relativement reculées. La légèreté de sa structure, composée de bordé sur membrures ployées, en fait une embarcation très facilement transportable en totale adéquation avec sa fonction. Il est composé par des membres ployés auxquels vient se fixer le bordé.

PLATE & YOUYOU EN V

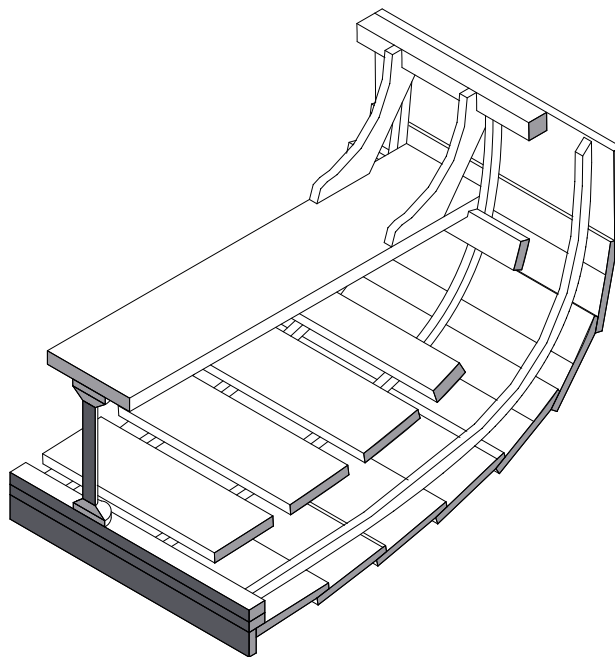
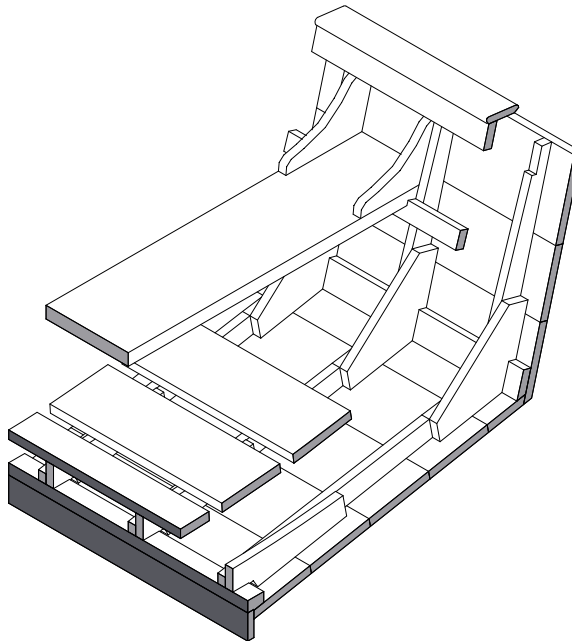


La Plate est une embarcation à fond plat servant au transport et au déplacement. Sa forme vient du fait qu'elle est utilisée dans les eaux peu profondes et les bassins ostréicoles. Ainsi son fond plat permet à la fois de naviguer sans encombre et de transporter des marchandises.



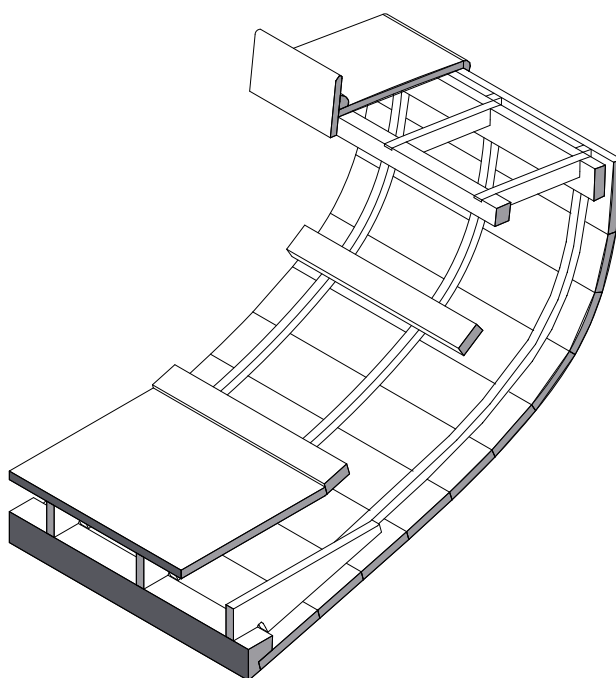
Le Youyou est une toute petite embarcation utilisée pour débarquer ou embarquer à bord d'un bateau au mouillage. Pour empêcher les déformations sur les hauts de carène, un élément traversant celle-ci doit être intégré ; c'est le banc qui reprend cette fonction, permettant également aux voyageurs de s'asseoir dans l'embarcation à une hauteur confortable pour ramer.

CANOT EN V & YOUYOU À CLINS



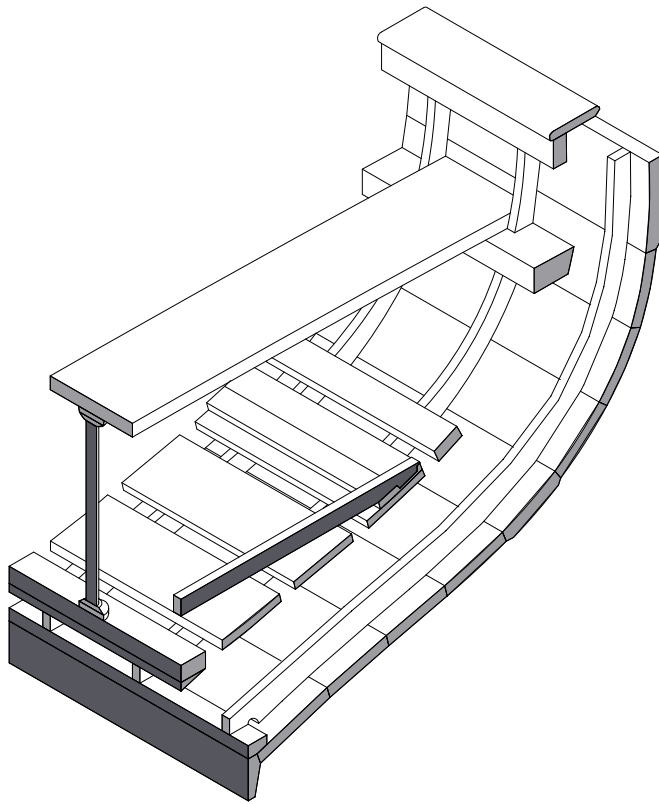
Les deux embarcations ci-dessus sont similaires à la précédente. On peut souligner le détail apporté à la réalisation des éléments; l'épontille étant visible, elle est ici travaillée avec soin, ce qui n'est pas le cas lorsque celle-ci est cachée.

DINGHY DEMI-PONTÉ



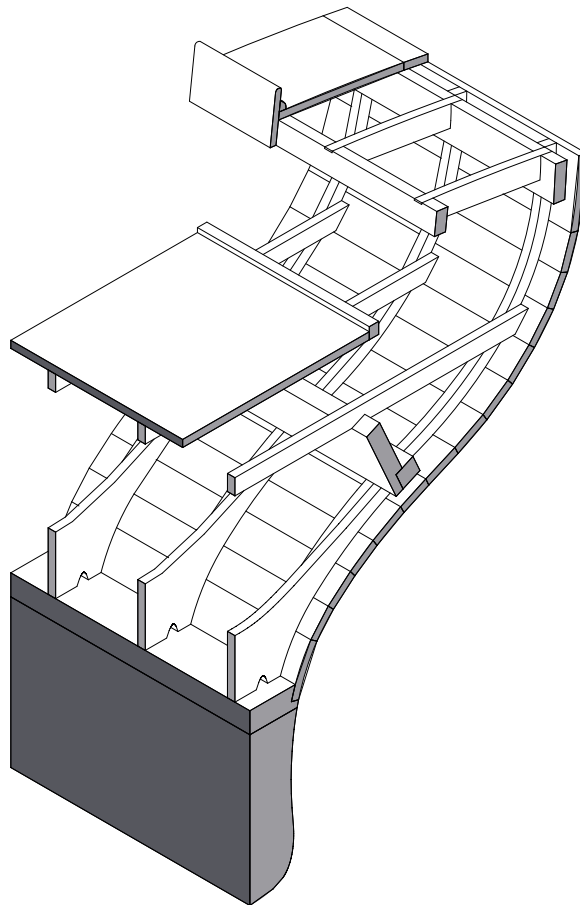
Ce type d'embarcation est destinée à la navigation de plaisance, elle est très similaire aux deux cas vus précédemment. Elle intègre cependant un vrai plancher.

GRAND CANOT



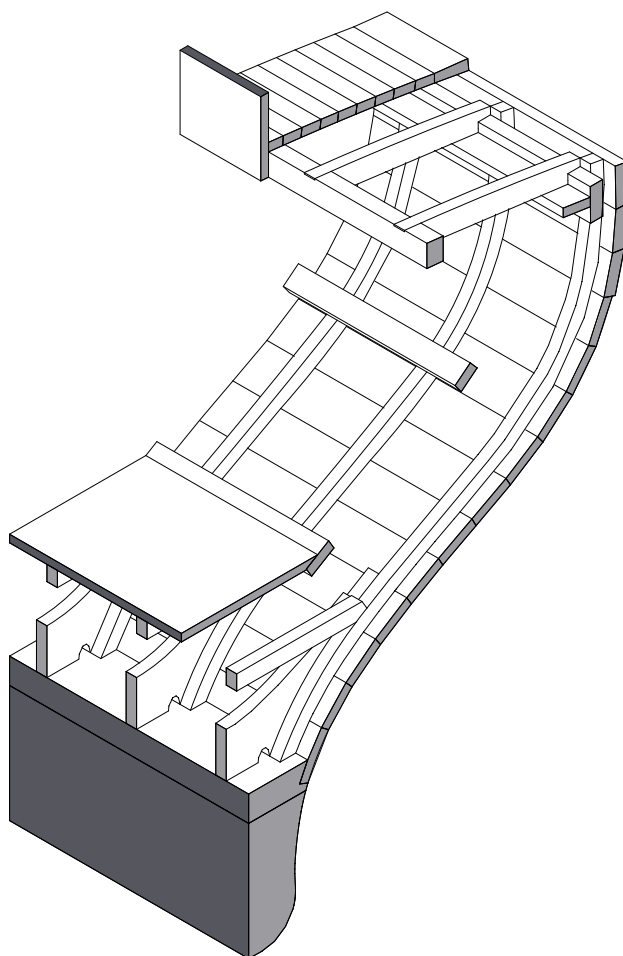
Ce type de canot possède plusieurs bancs. Afin de faciliter l'effort des rameurs, un cale-pied est ajouté sous le banc. On constate que les éléments structurels s'adaptent à l'utilisation.

YACHT DEMI-PONTÉ



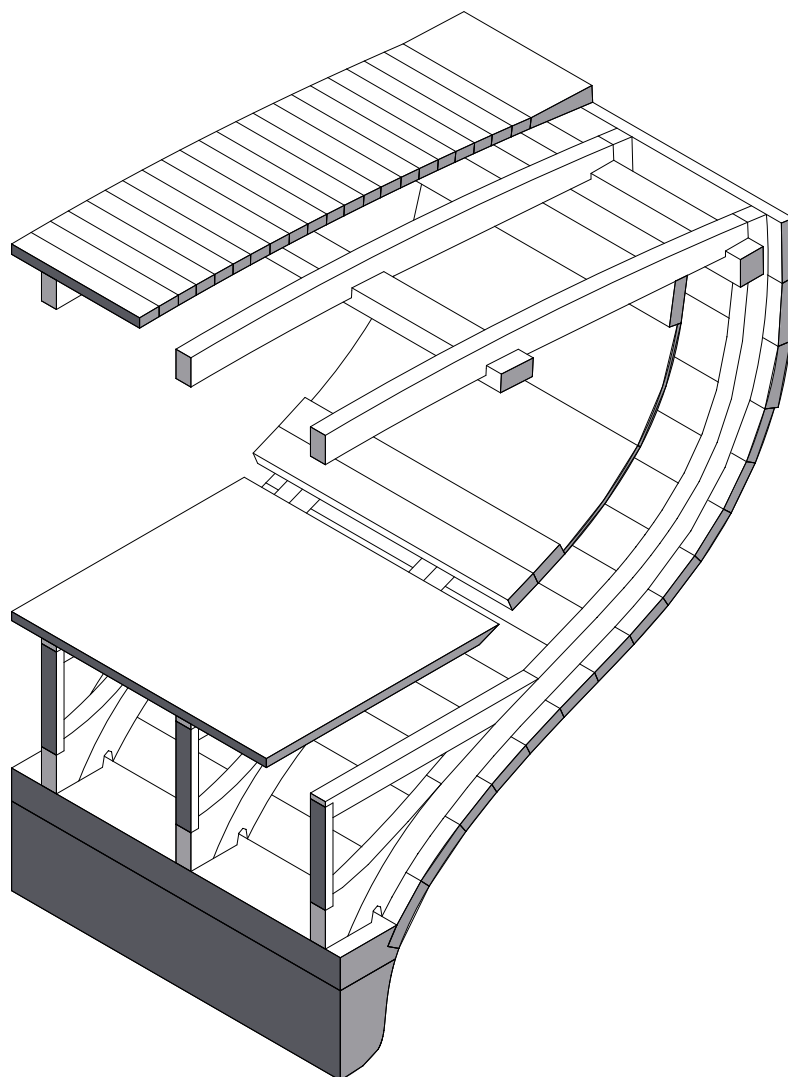
Ce genre d'embarcation est destiné à la navigation sportive à voile, un petit habitacle extérieur abaissé permet au barreur de naviguer et de se déplacer à bord sans être dérangé par la bôme. Un aileron lesté est ajouté afin de rendre le voilier plus stable. Parfois une petite cale permet de stocker du matériel, néanmoins, il n'y a pas de véritable espace intérieur.

YACHT DE CROISIÈRE AVEC ROUF



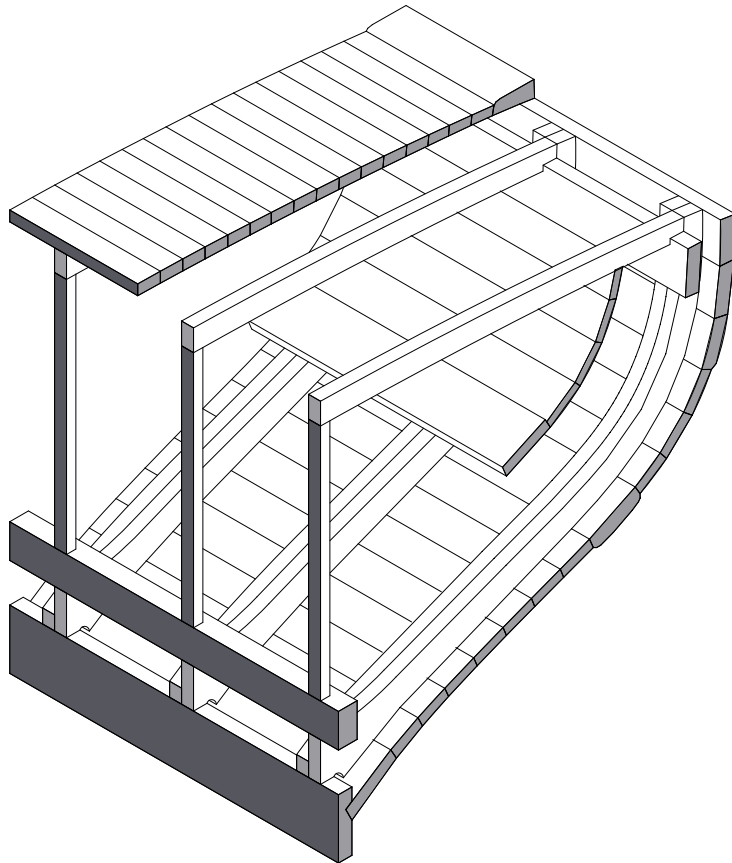
Ce type de voilier est souvent utilisé pour la course ou la croisière, il possède un habitacle permettant de survivre en mer. La surelévation du rouf permet de circuler à l'intérieur avec une hauteur confortable tandis qu'elle génère des passages à l'extérieur. Cet élément ajouté définit l'espace habitable et influence la forme du voilier.

YACHT DE GRANDE CROISIÈRE



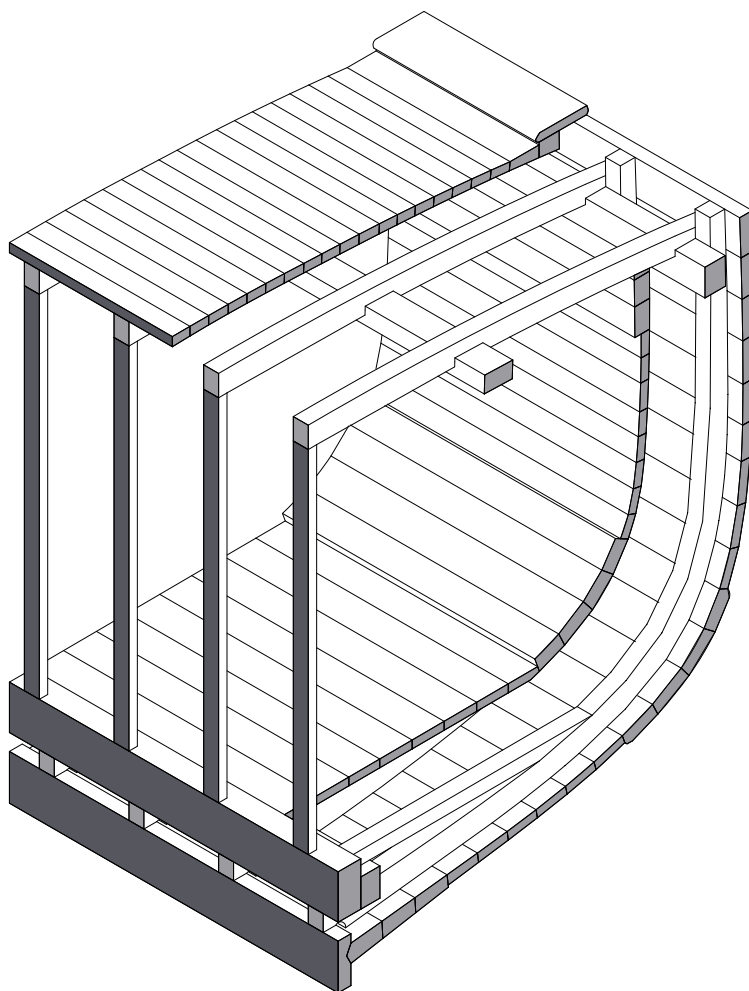
Ce type de voilier possède des espaces intérieurs généreux, le rapport entre la forme de la carène et la typologie intérieure est cependant moins marqué que dans l'exemple précédent. Afin de libérer l'espace central, la structure transversale a été dédoublée, pour accueillir le plancher d'un côté et le toit de l'autre.

BÂTEAU DE PÊCHE



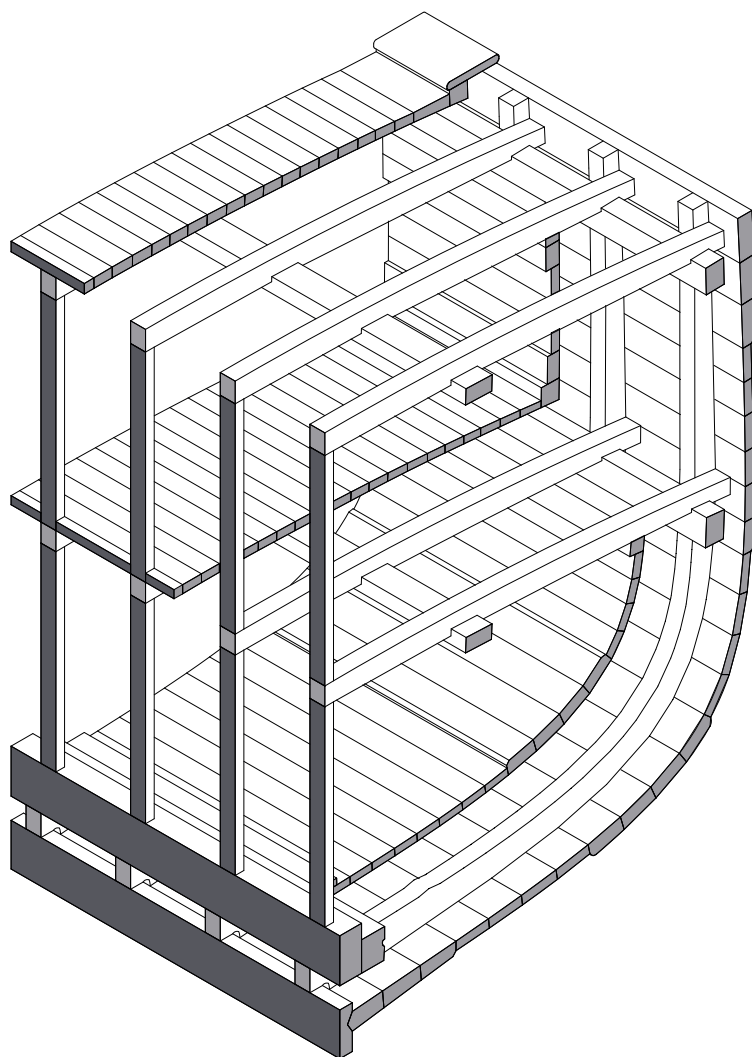
Ce type d'embarcation possède une cale très profonde permettant d'entreposer le fruit de la pêche. Les charges sur le pont étant relativement variables, un élément vertical viens ponctuellement renforcer la structure. On peut constater aussi, comme dans la majorité des bateaux, que les assemblages en double queue d'aronde fonctionnant et résistant aux efforts de flexion alternés stabilisent le système.

BÂTEAU DE CHARGE

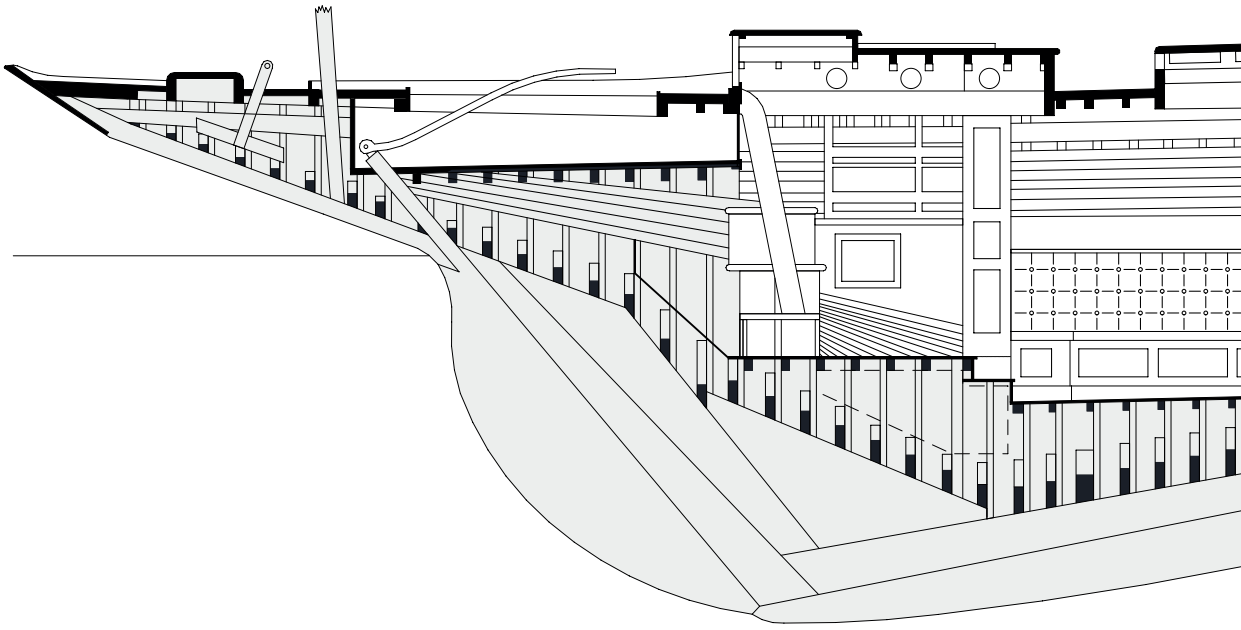


Les bateaux de charge servent aux transport de marchandises. On constate que l'espace intérieur est libre sur une grande hauteur avec des soutiens ponctuels. La structure globale est plus épaisse afin de résister aux charges. La forme de la carène est elle aussi plus épaisse sur le bas, ajoutant en stabilité au navire.

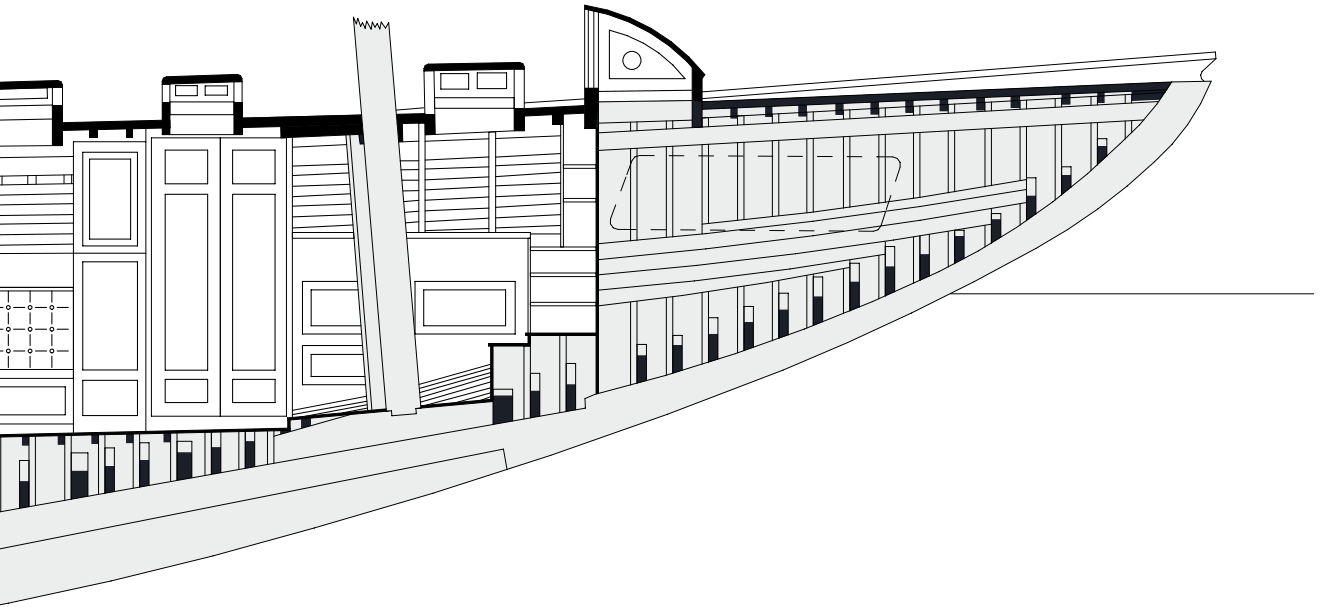
BATEAU À DEUX PONTS



L'ajout d'un étage induit une structure différente avec des éléments longitudinaux intermédiaires permettant de soutenir le plancher. De plus, l'aménagement des espaces intérieurs n'est plus aussi intéressant que dans les plus petits voiliers, les espaces deviennent indépendants de la carène.



DE LA STRUCTURE À L'ESPACE



Lorsque l'on observe la coupe d'un voilier de petite taille, mais assez grand pour comporter une cabine, on note que le tracé des éléments structurels suit des lignes guides dont les contraintes diffèrent. Tandis que les varangues et les pièces de quille (incluant l'étrave, l'éventuelle allonge d'étrave et l'étambot) s'agencent selon le plan de formes optimal pour la pénétration de la carène dans l'eau, les barrots soutenant les plans de pont, de roufs et le plancher de la cabine découlent directement du dimensionnement des espaces intérieurs.

La disposition des éléments transversaux forment la structure primaire de deux enveloppes distinctes. L'utilisation de l'espace interstitiel résultant de la combinaison de ces deux systèmes, déterminera en partie le degré d'intégration de l'habitat à la forme donnée par la carène. Ce « vide » entre ces deux enveloppes offre par ailleurs un espace adéquat à l'intégration des différentes techniques nécessaires à bord d'une embarcation. Cependant, pour comprendre comment s'établit la forme de l'enveloppe interne, l'on se doit d'approfondir l'étude de l'habitat à bord d'un voilier ainsi que des règles pratiques régissant le dimensionnement de ses différentes parties.

L'HABITABILITÉ

Les espaces de vie constituant l'habitat minimal à bord d'un voilier sont régis par des contraintes structurelles et contextuelles. Avant toute chose, l'intégrité de la structure doit être conservée. Aussi, la prise en compte du poids de chaque élément de mobilier sera cruciale dans le processus de conception. En effet, les masses doivent être équilibrées latéralement permettant ainsi de maintenir le centre de gravité de la coque dans le plan donné par la quille et le mât.

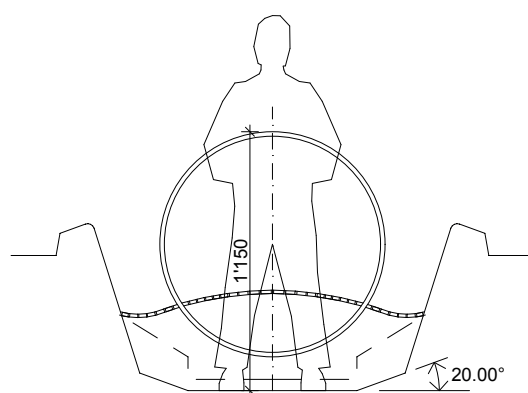
Cependant, la contrainte la plus intéressante réside sans doute dans la gîte du navire, propre au voilier, qui dicte par son altération potentielle de la horizontalité une transformation radicale de nombreux éléments d'architecture. Avec la gîte, l'équilibre des éléments se doit d'être adaptable et contrôlé en toute circonstance.

La proportion entre espaces intérieurs et extérieurs est elle aussi soumise à des contraintes contextuelles mais d'ordre géographique et programmatique cette fois. Cet équilibre dépendra de la fonction du navire mais aussi du type de voyage envisagé à son bord et sous quelles latitudes l'on naviguera. La séparation entre les espaces extérieurs soumis aux aléas des intempéries et les espaces intérieurs protégés s'effectue généralement au niveau du passage du cockpit au carré, de préférence au travers d'un sas (difficile à intégrer sur de petites unités).

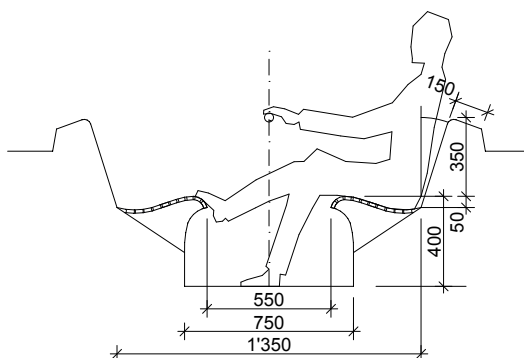
LE COCKPIT

Le cockpit et le plan de pont constituent l'ensemble des espaces extérieurs du bateau. Ceux-ci reçoivent la base des gréements, contraignant fortement les espaces de circulation par la manoeuvrabilité du voilier et la vie aux escales. Le cockpit répond aux exigences dimensionnelles correspondant à la position dans laquelle une personne tient la barre tandis que le plan de pont n'est apparemment pas soumis à des mensurations définies par le corps humain mais plutôt par les nécessités de transmission des efforts des gréements. Le cockpit regroupe deux éléments fondamentaux: siège (accessoire) et barre de gouvernail. Ceux-ci répondent tous deux à la gîte du navire. En effet, le banc peut se courber pour ainsi s'adapter au barreur devant s'y appuyer selon la gîte du bateau. Le gouvernail peut, sur certains voiliers de course, être dupliqué, anticipant les problèmes de visibilité du barreur en cas de gîte importante.

On remarque qu'à l'extérieur, les espaces de cockpit et de plan de pont seront contraints par la position des cadènes (points d'attache des haubans, étais, bastaques et pataras), le mât ainsi que l'éventuel mouvement de la bôme.



Coupe transversale dans un cockpit avec gouvernail.

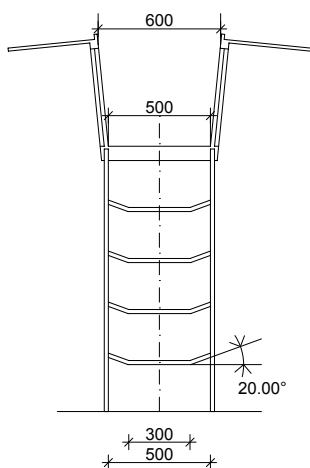


Coupe transversale dans un cockpit avec barre.

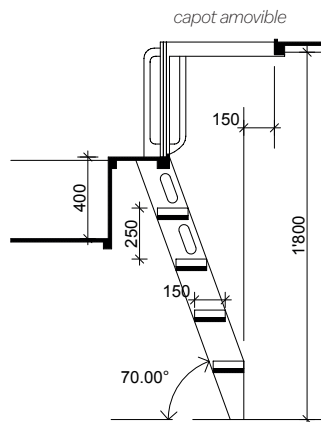
LA CIRCULATION

La descente vers la cabine est équipée de panneaux mobiles devant pouvoir être verrouillés de l'intérieur comme de l'extérieur. Des mains courantes peuvent être installées par sécurité de chaque côté de l'ouverture ainsi que sur le bord arrière du rouf à l'extérieur. Les capots de descente soulevant des problèmes d'étanchéité la boîte dans laquelle ils s'escamotent devra avoir une chicane à l'arrière du rouf pour permettre l'écoulement de l'eau. Aussi, on pourra assurer le serrage des capots à la fermeture en réalisant une légère pente dans leur section.

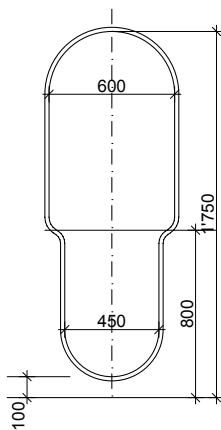
Concernant les portes, les coulissants dans un plan parallèle au plan formé par la quille et le mât permettent un gain de place mais nécessitent un caisson de même largeur que l'ouverture. Dans un plan transversal, les coulissants doivent pouvoir être bloqués à la gîte.



Elévation frontale d'une descente d'escaliers type.



Coupe d'une descente d'escaliers type.

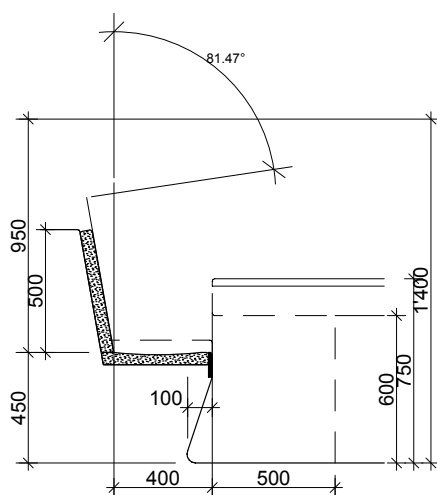


Dimensions minimales d'une porte dans l'habitacle.

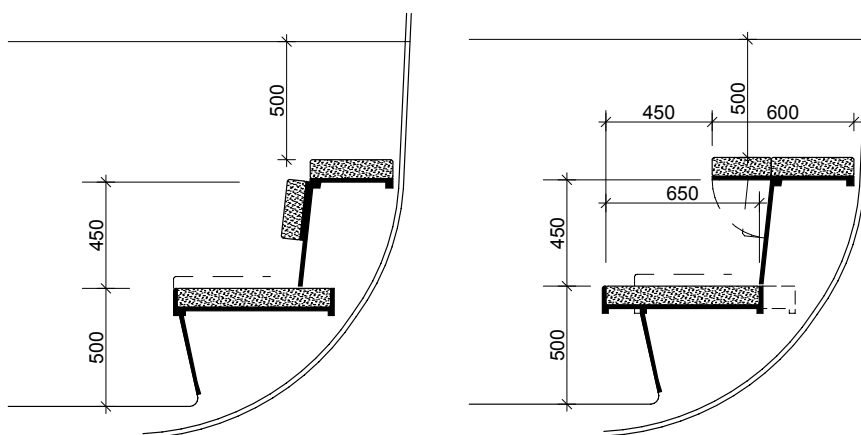
LE CARRÉ

Le carré est la pièce centrale intérieure du navire, soit l'équivalent du foyer dans une habitation en plus d'être un espace de circulation vers les chambres et la cuisine. Cependant, cette pièce comprend également des couchettes intégrées aux parois intérieures de la coque et parfois un coin dit de navigation destiné à étudier les cartes maritimes.

Le carré constitue le véritable centre de l'habitacle, il tient le rôle de refuge contre les éléments lorsque ceux-ci se déchaînent à l'extérieur. Ainsi, on peut imaginer combien celui-ci se doit d'être accueillant et chaleureux. Plaque tournante des circulations, il dessert les différents emménagements du voilier.



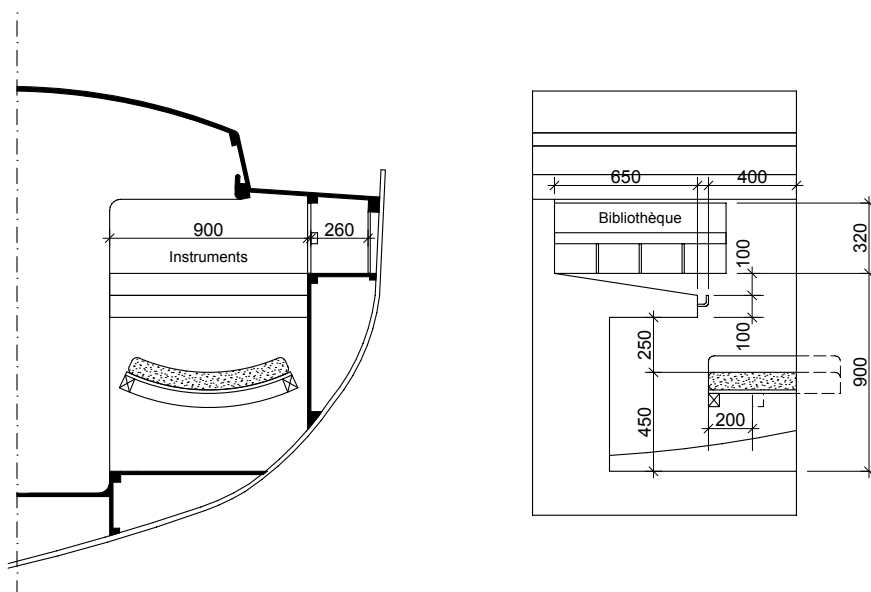
Dimensionnement des éléments du carré.



Coupes dans un carré dont les banquettes intègrent deux couchettes superposées

LE COIN NAVIGATION

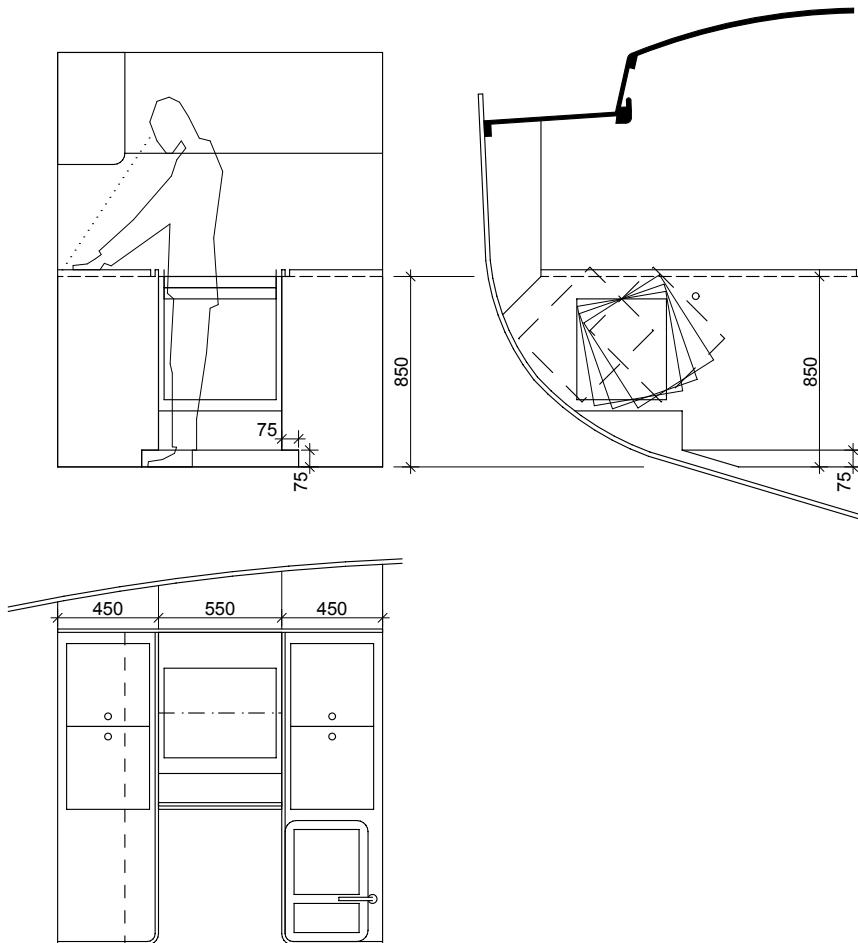
Le coin navigation s'intègre souvent au carré sur de petites unités de voilier. Cependant, sur des embarcations plus généreuses, il constitue un compartiment séparé. Les standards de format en matière de carte maritime dictent généralement les dimensions de la table à carte intégrée au coin navigation. Cette table fera donc au minimum 85 x 60 cm, soit l'équivalent d'une carte maritime officielle au format A0 pliée en deux. Le siège peut être incurvé pour palier à la gîte et est d'autant plus pratique si celui-ci peut se reculer. Que l'espace soit intégré au carré ou non, des violons amovibles en bordure de table sont pratiques pour éviter de faire tomber des objets. Le navigateur devra avoir à portée de main les instruments et les ouvrages dont il a besoin et chacun de ceux-ci devrait trouver sa place dans des rangements encastrés dans le fond du compartiment.



Coupe transversale et longitudinale dans le coin navigation avec dimensionnement des éléments.

LA CUISINE

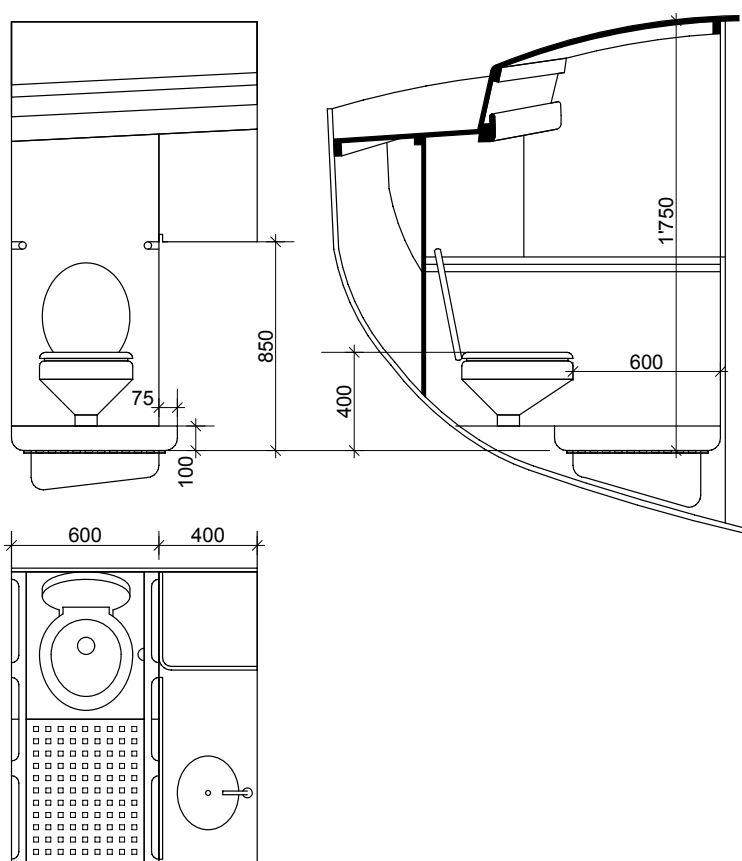
La cuisine devra répondre à deux exigences essentielles, à savoir commodité et sécurité. Celle-ci se doit de ne pas entraver la circulation à l'intérieur de la cabine ainsi que de permettre au cuisinier une position stable quelque soit la gîte du navire. Pour assurer une certaine sécurité, une barre de protection pourra être installée devant le réchaud, ainsi qu'une sangle d'appui au dos du cuisinier et des mains courantes au plafond. Les réchauds ainsi que l'évier seront montés sur des articulations parallèles à l'axe de la coque qui permettent un certain angle de rotation. Le tout sera complété d'un système d'amortisseur en arrivant en butée.



Plan, coupe transversale et élévation d'un compartiment cuisine type..

LE BLOC SANITAIRE

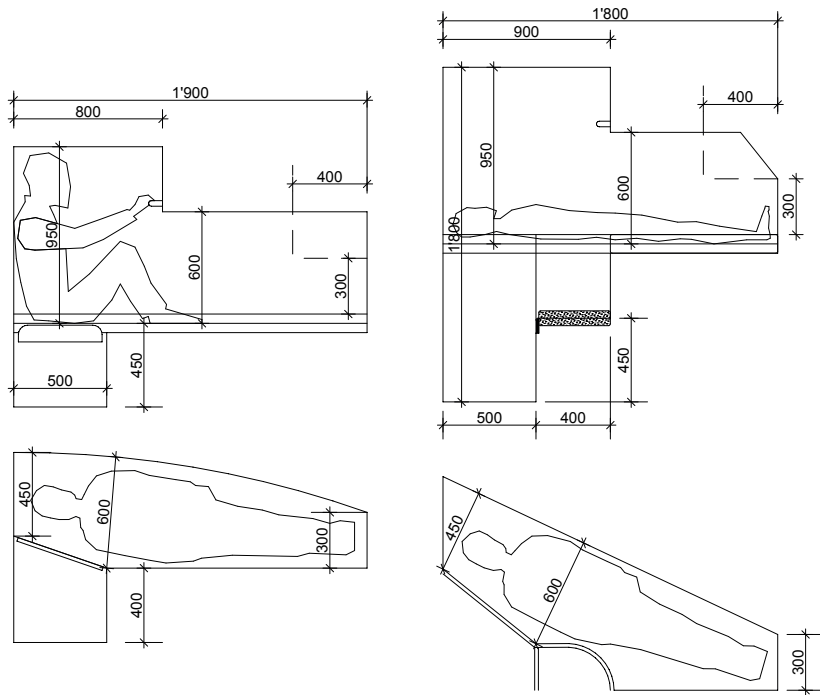
Malgré le nombre de possibilités d'agencements envisageables pour cet espace, un certain nombre d'impératifs demeurent. Tout d'abord, l'axe de la cuvette sera toujours transversal, de telle sorte que l'on ne se retrouve pas de travers à la gîte. Le lavabo, comme l'évier, devra être suffisamment profond; une section rabattant les remontées d'eau vers le centre sera d'autant plus adaptée. Les miroirs en verre sont à proscrire au profit de matières plastiques car trop dangereux. Sans gîte, les dimensions minimales d'une douche à hauteur du coude sont pour être à l'aise de 60 x 60 cm et des poignées peuvent être aménagées sur les côtés du compartiment pour assurer un appui. Au sol de la douche, un caillebotis ou un plancher ajouré permettra à l'eau de s'écouler dans le bac de douche situé au-dessous de celui-ci. Cet espace nécessite d'intégrer de manière optimale toutes les activités qu'il accueille et d'assurer au mieux la sécurité de ses occupants. Angles arrondis et poignées sont donc primordiaux pour palier à un risque d'accident.



Plan, coupe transversale et élévation d'un compartiment sanitaire type.

LES COUCHETTES

La couchette dans les embarcations contemporaines dérive des hamac qui mieux que tout s'adaptent à la gîte. Les couchettes peuvent s'intégrer dans plusieurs compartiments. Dans le carré, les banquettes peuvent être convertibles de nuit jusqu'à déployer deux couchette par banc si celui-ci est extensible et que son dossier est rabattable vers le haut. Les couchettes de quart et de poste-avant étant les plus contraintes par le volume de la carène, leur dimensionnement est régi par des dimensions minimales (au dessous desquels il ne faudra pas descendre).



Plan & coupe d'une couchette de quart type.

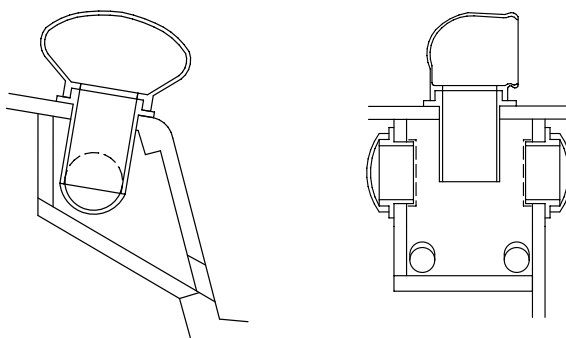
Plan & coupe d'une couchette de poste avant type.

L'espace à bord du voilier étant souvent exigu, il sera crucial d'optimiser l'intégration des rangements dans les espaces résiduels de la carène dans la plupart des compartiments. On distingue les produits, ne craignant ni l'humidité ni le confinement, ceux ne craignant pas l'humidité mais nécessitant une bonne aération et finalement ceux qui craignent l'humidité et le manque d'air. L'encastrement des différents meubles tels que les couchettes ou encore les fonds de cale offrent de nombreuses possibilités de rangements appropriés à la première catégorie (vivres, réserves en boîte, emballages étanches, etc). Les vivres frais nécessitant une bonne aération peuvent trouver leur place dans des paniers glissés dans des compartiments ouverts. Nécessitent également d'être aérés les vêtements de mer pour lesquels il est judicieux de prévoir un

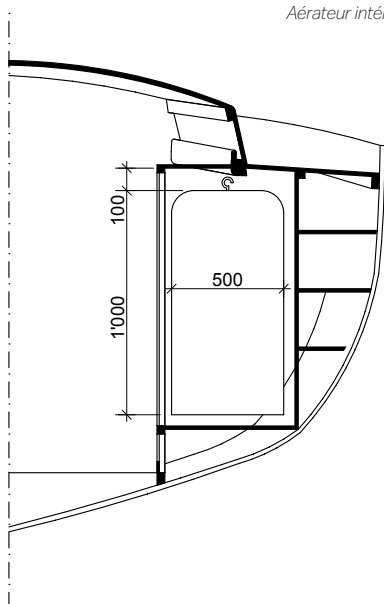
LE RANGEMENTS

volume spécifique à proximité de la descente. Enfin, l'essentiel des objets craignant à la fois l'humidité et le manque d'air étant les vêtements et les livres de navigation, ceux-ci trouveront leur place dans les penderies et étagères encastrees dans la coque.

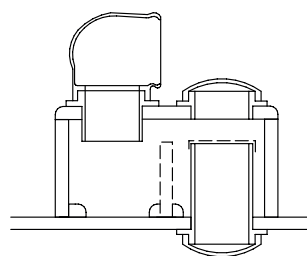
Les conduits d'aération à bord sont d'une certaine complexité car il faudra éviter que les embruns pénètrent à l'intérieur de la cabine. Ceci est envisageable grâce à un système de sas comprenant une conduite extérieure incurvée vers la poupe et un conduit intérieur où l'eau ne pourra pénétrer. L'extrémité de la conduite intérieure côté sas se prête bien à l'installation d'une moustiquaire. Finalement, des bouchons sont installés à l'intérieur pour pouvoir couper l'arrivée d'air au besoin.



Aérateur intérieur donnant sur deux compartiment, les sorties sont équipées d'une moustiquaire et d'un bouchon.

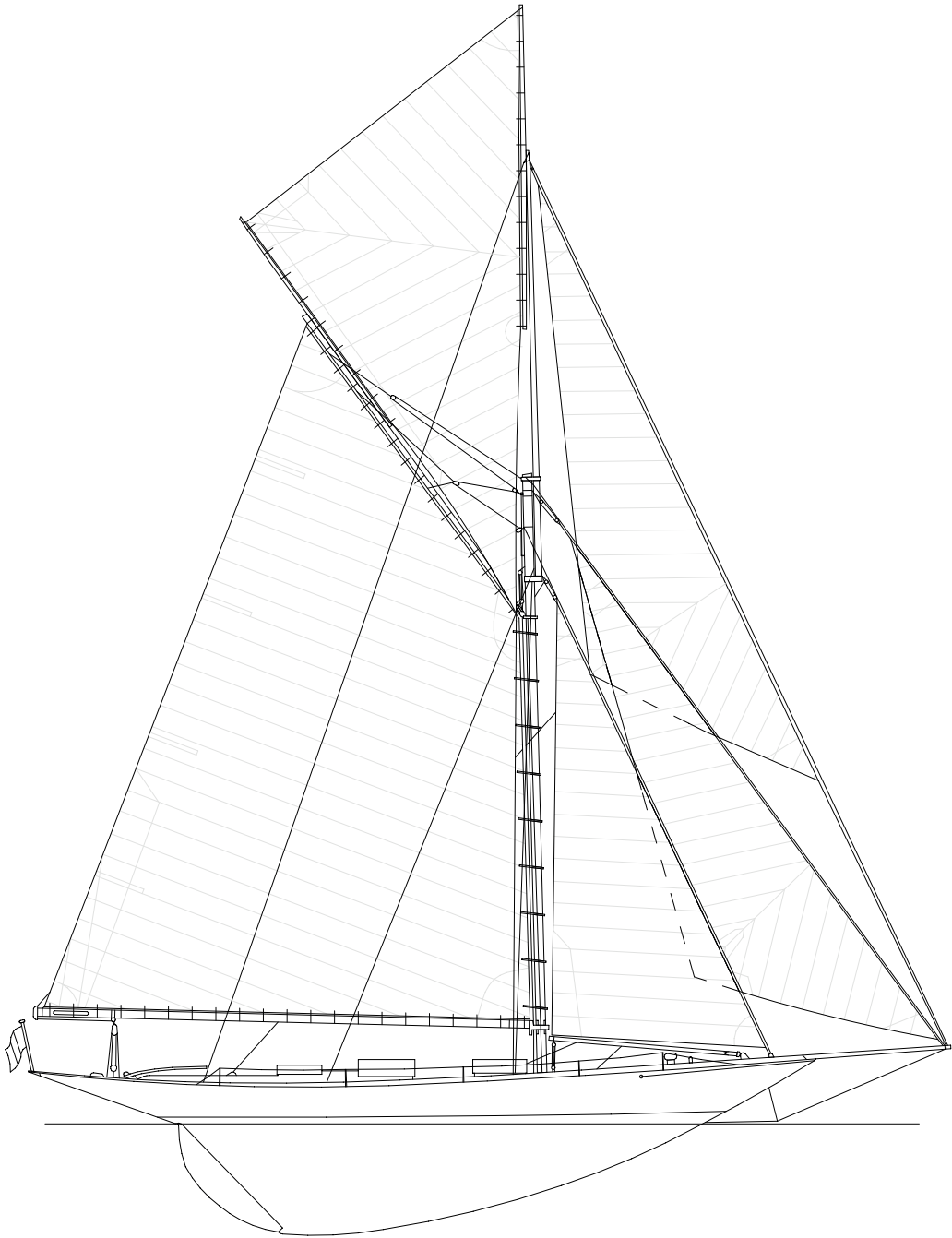


Exemple d'intégration d'une penderie pour housses



Aérateur type dorade avec embase de manche à air prévu au-dessus du conduit intérieur pour un montage en direct lorsqu'on est au port

PEN DUICK



En comprenant les nécessités structurelles et d'habitat du voilier, on est en mesure de définir à bord de quel type d'embarcation s'entremêlent de manière prononcée les différentes composantes architecturales du navire. Un exemple de navire, qui illustre à la perfection la complétude dans le dialogue entre ses parties, est le célèbre « Pen Duick », voilier réalisé d'après les plans du célèbre architecte écossais William Fife III en 1898, sous le nom de « Yum ».

C'est un côtre franc à voile aurique dont le gréement se décompose en une grand-voile aurique à corne, une voile de flèche, un foc, un clinfoc et une trinquette. Il fait partie des yachts les plus notables du siècle dernier étant dessinés plus pour la course que pour la plaisance. Leur courbes racées, la sobriété de leur architecture et l'austérité des espaces en font des objets d'une grande élégance, bien loin des yachts de luxe d'aujourd'hui.

A son bord, Pen Duick présente certaines caractéristiques intéressantes. Les ouvertures sont parallèles au plan de pont; l'entrée dans la cabine s'effectue donc par un volet coulissant longitudinalement, étant ainsi indépendant de la gîte du bateau.

On observe qu'au niveau du gouvernail, le safran se trouve derrière la quille, prolonge les formes de celle-ci (contrairement à la forme des safrans dans les bateaux modernes qui se détache complètement de la quille et dont le tracé en est indépendant). La poupe du Pen Duick n'est donc pas coupée nette, mais suit une courbe donnée en-dessous de la ligne de flottaison par le gouvernail et en-dessus par l'étambot qui s'élance en porte-à-faux au dessus de l'eau, de même que l'étrave à la proue.

Dans sa section, on remarque que la travée des barrots (membrures transversales) semble s'adapter à certains éléments. Ainsi, la dimension de la travée augmente au niveau du gouvernail pour permettre à la mèche soutenant le safran de s'insérer entre deux barrots.

L'élancement de la poupe et de la proue par rapport à la forme de la carène sous la ligne d'eau est fortement accentué car en temps que voilier de course, il reçoit un handicap établi par les jauges internationales de l'époque. Celles-ci sont notamment basées sur la longueur de flottaison de l'unité, soit sa longueur de carène au niveau de sa ligne de flottaison. En augmentant ainsi la longueur du pont, le voilier bénéficie d'un franc-bord plus important permettant une meilleure reprise des forces éoliennes.

Les yachts de course encore réalisés en bois sont particulièrement séduisants car la finesse obligée de leur plan de forme amène à un habitat des plus minimal, rendant l'intégration des éléments de l'habitacle d'autant plus belle.

TRANSPOSITION ARCHITECTURALE

De tous temps, il y aura eu, entre les domaines de la construction navale et de l'architecture, des échanges de savoir et de techniques dans les deux sens. La transposition de l'univers naval à l'architecture, qui nous intéresse ici, peut s'effectuer de différentes manières; en s'inspirant d'une image, d'une logique spatiale ou d'un principe structurel.

Ainsi, certains perçoivent ainsi dans le Sydney Opera House de Jorn Utzon l'image d'un voilier à l'horizon. Cette vision purement métaphorique et formelle rappelant la silhouette d'un navire toutes voiles dehors, sollicite l'imaginaire du spectateur en lui évoquant un ensemble d'archétypes liés à l'univers naval.

On retrouve aussi dans certains projets en tenségrité tel que le Kurilpa Bridge, situé dans le Queensland australien, une métaphore structurelle du gréement cette fois et non de la carène. L'ensemble d'équilibres permettant de manoeuvrer la voilure amènent la réflexion sur les systèmes en tenségrité. Cependant, la transposition architecturale du gréement, bien que structurelle, demeure emprunte d'un certain formalisme. En ce sens, ce genre de transposition s'oppose à l'esprit de la construction navale, qui parce qu'elle s'adapte à tant de contraintes, ne laisse pas de place au formalisme.

Une adaptation spatiale dans le raisonnement programmatique de l'habitat est encore une manière d'envisager l'architecture selon le rationalisme propre au voilier. On observe dans «le Cabanon » du Corbusier, qui s'inscrit dans ses recherches sur la production standardisée d'une cellule d'habitation et reprend les proportions du Modulor comme guide au dimensionnement des espaces, un strict respect de l'esprit rationnel de l'habitable. De plus il s'inscrit dans une réflexion sur l'habitat minimal dont le voilier ne peut se défaire et où tous les éléments sont intégrés de manière optimale.

Tout comme c'est le cas dans le voilier, les différents éléments programmatiques s'agencent autour d'un vide permettant aussi la circulation. Les parois servent à séparer les espaces mais aussi de support aux divers aménagements. Les différents éléments de mobilier sont, tout comme les espaces, dimensionnés de manière rationnelle, comme c'est le cas à bord du voilier. Néanmoins, le cabanon transcrit plus un mode de vie et une façon de penser l'espace qu'un langage structurel; on en vient presque à regretter le fait que la structure et l'espace n'interagissent pas plus.

Certains objets architecturaux rappellent la construction navale simplement par certaines similitudes structurelles. Ainsi, la double coupole du dôme de la cathédrale St-Paul à Londres génère un espace interstitiel similaire au fond de cale dans une carène. Cet entre-deux provient de la combinaison d'une coupole en chaînette adaptée à la descente des charges et d'une coupole sphérique dictée par un tracé géométrique. On y retrouve la tension présente entre l'habitable et la coque du voilier.

Une autre approche consiste à s'inspirer des systèmes constructifs et structurels des charpentes de bateaux qui fascinent par leur justesse et leur ingéniosité. Un exemple historique notable est l'invention des toitures en carènes renversées par Philibert de l'Orme dont on peut observer une des réalisations dans la « *Salle des Pôvres* » des Hospices de Beaune en France. De l'Orme étant un maître dans l'art des charpentes en bois, on retrouve dans ses réflexions constructives de « l'Art de bien Bastir à Petits Fraiz », l'inspiration qu'il a pu tirer des assemblages de pièces de bois propres aux carènes de navires. La réduction de la taille des pièces permet de réduire la courbure des éléments, et donc de réduire les coûts de production et de matière. La charpente De l'Orme rappelle les éléments de membrures découpés, assemblés eux aussi par petits morceaux. Ces assemblages structurels employés en toiture permettent de franchir des grandes portées libres, chose alors impossible sans encombrer l'espace avec une charpente classique. Toutefois, malgré la richesse spatiale proposée par cette charpente, elle ne propose pas de réelle manière de vivre la toiture, comme on vivra la carène.

Finalement, plus contemporain, Hiroshi Naito reprend dans la construction de la salle d'exposition du Sea-Folk Museum (Toba, Japon) un langage calqué sur la construction navale. Ce musée étant dédié à la compréhension des traditions des villages de pêcheurs de la région, la transposition des techniques vernaculaires de construction de carènes en une charpente de toiture vient parfaire la réponse de l'architecte à son contexte. Les divers éléments de charpente s'inspirent largement des membrures ployées. Un détail intéressant est ici celui de la quille, qui ne travaillant plus dans la longueur comme c'est le cas dans le voilier, se dématérialise en petites pièces permettant une ouverture zénithale symbolique.

GOÉLETTE ALCAEA



Goélette Alcaea navigant toutes voiles dehors.

SYDNEY OPERA HOUSE



Opéra House de Sydney par Jörn Utzon.

PEN DUICK



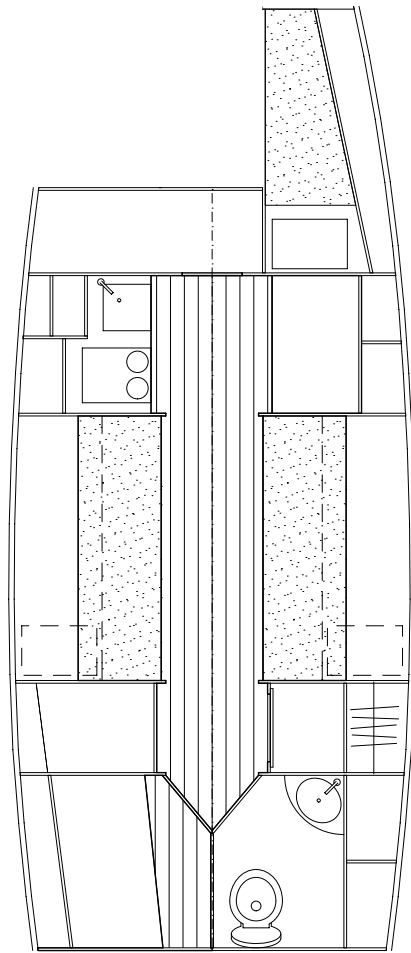
Grément du Pen Duick.

KURILPA BRIDGE



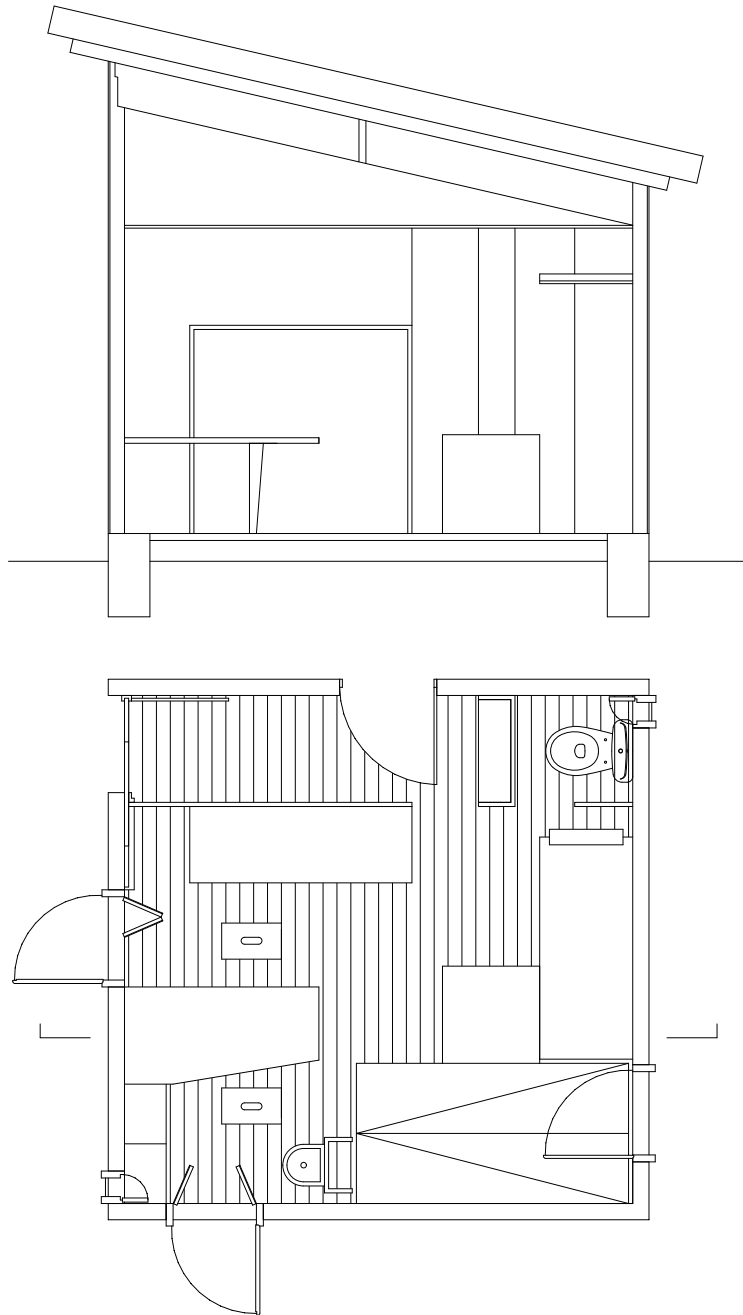
Kurilpa Bridge de Brisbane.

PEN DUICK



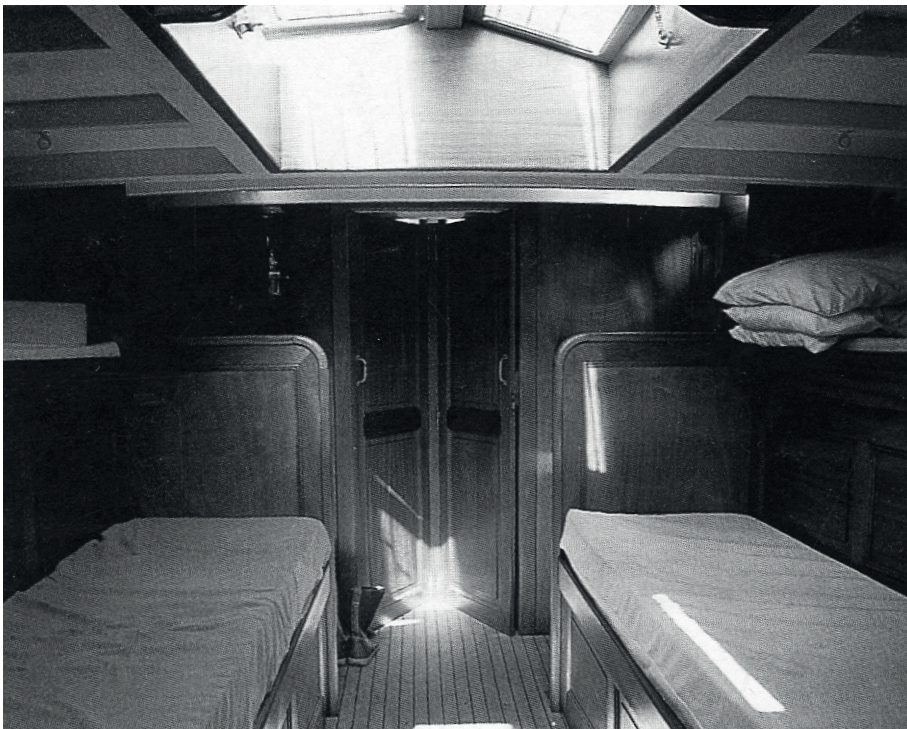
Plan du Pen Duick.

LE CABANON



Plan & coupe du Cabanon.

PEN DUICK



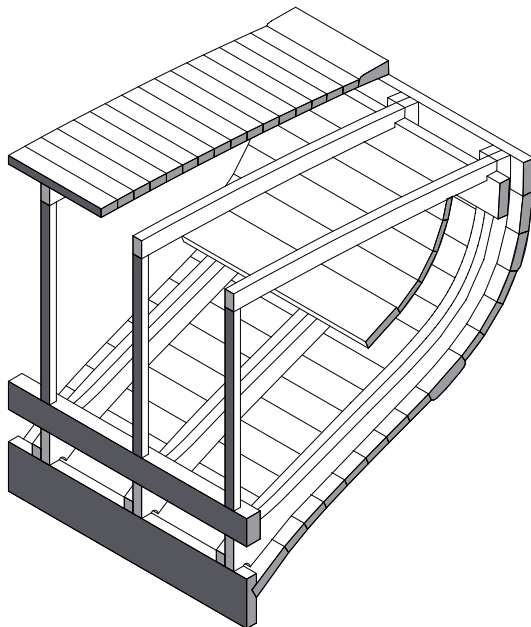
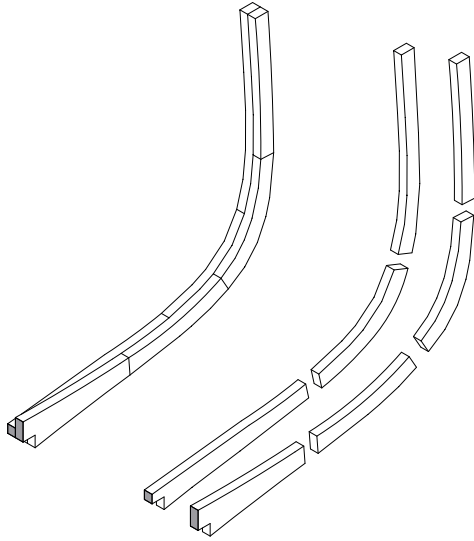
Intérieur du Pen Duick, le carré, espace de vie.

LE CABANON



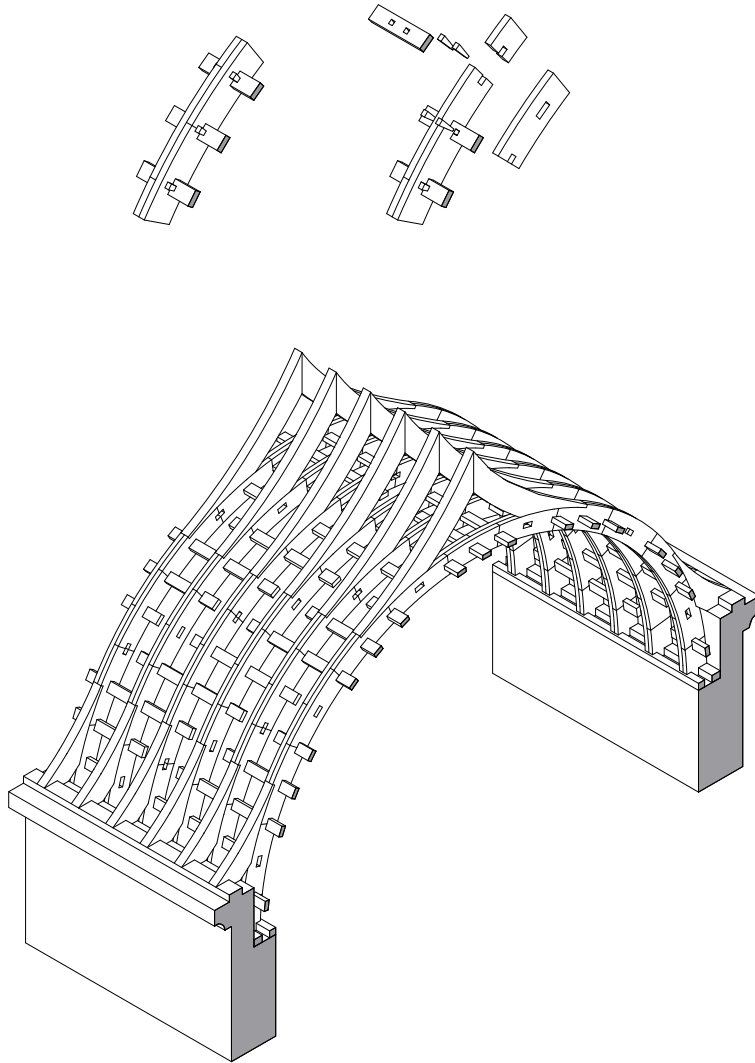
Intérieur du Cabanon, espace de vie.

MEMBRURES DÉCOUPÉES



Charpente d'un voilier de taille moyenne. Membrures découpées & assemblées.

CHARPENTE DE L'ORME



Charpente de Philibert De l'Orme.

CHARPENTE NAVALE



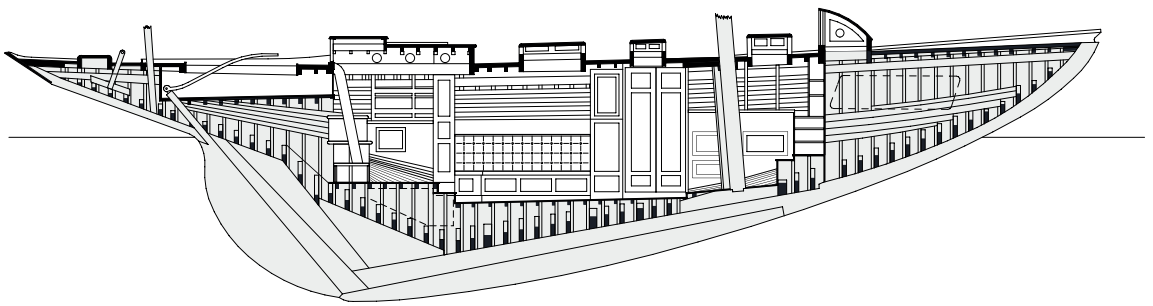
Charpente d'un voilier montrant les membrures et la quille.

SEA FOLK MUSEUM



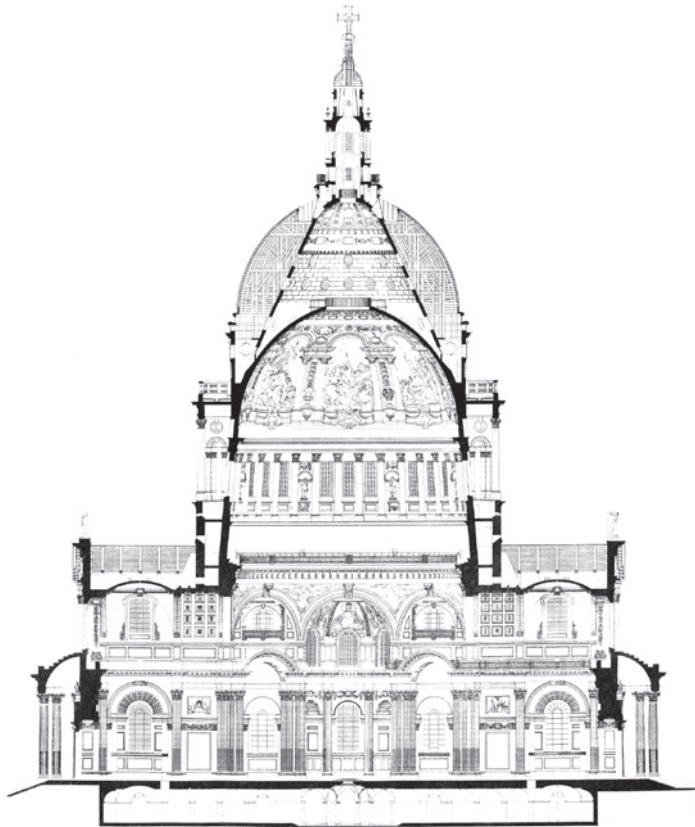
Structure du Sea Folk Museum de Hiroshi Naito.

PEN DUICK



Coupe du Pen Duick.

CATHÉDRALE SAINT-PAUL



Coupe de la cathédrale St-Paul de Christopher Wren.

CONCLUSION

VERS UN PROJET

Ces diverses manières de transposer des principes liés à l'univers maritime vers des architectures restent souvent incomplètes. On ne retrouve pas d'édifice intégrant de manière aussi remarquable tous les éléments projectuels aussi justement que le voilier. S'inspirer des carènes donne souvent lieu à des couvertures d'espaces, délaissant l'intégration des aspects programmatiques tandis que des projets fondés sur la rationalité spatiale induisent souvent une perte dans la compréhension des systèmes structurels.

Ainsi, il semble légitime de s'interroger quant à la possibilité, dans un contexte défini, de retrouver une telle intégration et un tel équilibre entre tous les éléments du processus architectural.

LEXIQUE

Accastillage. Ensemble des accessoires de pont servant à manoeuvrer un navire.

Babord. Côté gauche d'un bateau dans le sens de la marche.

Barres de flèche. Pièces destinées à accrocher les galhaubans, perpendiculaires au mât.

Barrot, barrotin. Pièce de structure transversale destinée à raidir le bordé d'un pont. Un barrot s'étend de bord à bord sur toute la largeur du pont tandis qu'un barrotin va d'un bord à une structure longitudinale ou il se trouve interrompu.

Bastaqu. Hauban reliant le capelage d'étai sur le mât à l'arrière du bateau, venant se fixer sur le pont.

Bauquière, ou serre bauquière. Pièce de charpente située, de chaque bord, sous la liaison pont-coque, qui reçoit les têtes de membrures d'une part et les extrémités des barrots en abord d'autre part.

Beauprès. Pièce de bois prolongeant la distance d'accroche depuis le pont à l'avant d'un navire où viennent se fixer les étais et les voiles d'avant.

Bôme. Pièce de bois soutenant le côté inférieur d'une grand-voile

Bord. Côté d'un navire

Bordé. Peau extérieure étanche qui représente l'élément principal de l'ensemble coque et pont.

Cadène. Pièce d'assemblage généralement métallique entre les éléments du gréement dormant et la structure de coque.

Carène. Partie inférieure d'un navire constituant l'enveloppe de l'habitacle, ensemble de la charpente reprenant les efforts transmis depuis le gréement.

Carlingue. Pièce de charpente longitudinale placée dans les fonds. Elle peut être centrale, pour raidir la quille dans l'axe, ou latérale, située entre la quille et le bouchain.

Chavirement. Basculement selon une rotation par rapport au centre de gravité du navire du à la force du vent exercée sur les voiles.

Clin. Les bordés de coque sont généralement assemblés à franc-bord, c'est à dire de bord à bord. Sur certains navires ils peuvent être assemblés par recouvrement ou clin, et l'on parle dans ce cas de coque bordée à clin.

Cliinfoc. Petite voile d'avant située sous le foc.

Coque. Partie externe de la carène, définie par un plan de forme.

Couple. Structure transversale de coque directement associée au bordé pour le raidir. Un couple est constitué dans son entier en général par une varangue et les membrures associées (une de chaque bord, d'où le nom de couple) et éventuellement un barrot.

Dérive. Pièce inférieure de la coque d'un navire aidant à l'appui du bateau dans l'eau lorsque celui-ci subit la force du vent.

Drisse. Cordage destiné à hisser une vergue, une voile ou un pavillon.

Ecoute. Cordage destiné à manoeuvrer une voile en réglant l'angle de celle-ci par rapport à l'axe du navire.

Epontille. Poteau vertical, en général tubulaire, supportant une structure de pont, destiné à en transmettre la charge.

Espar. Pièce longue et rigide travaillant en flexion destinée à soutenir la voilure.

Étai. Cordage en tension partant du haut du mât le plus avant et fixé à l'avant du navire, au beauprés si il y en a un.

Etambrai. Trou pratiqué dans le pont pour le passage d'un mât.

Flèche. Voile complétant la voilure au-dessus de la grand-voile sur un navire muni d'un gréement aurique.

Foc. Voile d'avant hissée le long de l'étau, permettant une grande manoeuvrabilité du navire.

Galbord. Premier bordé du bas d'une coque.

Galhaubans: Raidisseurs de mât munis de barres de flèche partant de son pied et allant jusqu'à son sommet.

Gîte. *Inclinaison d'un navire sur son axe longitudinal.*

Grand-voile. *Voile principale d'un navire, s'élançant vers l'arrière du mât principal, pouvant être coupée au niveau d'une vergue qui vient également la soutenir dans le cas d'une voile à corne.*

Gouttière. *Élément longitudinal du bordé de pont situé le plus en bord, le long du livet. On l'appelle aussi le plat-bord.*

Haubans. *Câbles tendus placés de chaque côté du mât, le maintenant dans le plan longitudinal du voilier.*

Hiloire. *Pièce de charpente longitudinale destinée à accroître la résistance d'un pont. Elle est dite renversée lorsqu'elle est disposée sous les barrots et soutenue à intervalles réguliers par des épontilles.*

Lisse. *Pièce de structure longitudinale (secondaire) directement associée au bordé pour le raidir entre les couples (porques) de la charpente principale (structure primaire) dans le système de construction longitudinal.*

Manoeuvre courantes. *Cordages destinés à hisser ou tendre les voiles.*

Manoeuvres dormantes. *Câbles tendus destinés à équilibrer les efforts reçus par les espars.*

Mât de flèche. *Mât amovible où vient se fixer une voile de flèche, situé en-dessus du mât de hune ou du grand-mât.*

Mât de Hune. *Mât prolongeant un grand-mât dans sa hauteur.*

Membre. *Pièce de structure transversale directement associée au bordé pour le raidir entre les éléments longitudinaux de la charpente principale, dans le système de construction transversal.*

Palan. *Système de cordes et poulies*

Pataras. *Câble reliant la tête de mât à l'arrière d'un navire.*

Pont. *Partie supérieure de la carène, surface sur laquelle viennent se fixer les divers accastillages.*

Porque. *Membrane renforcée qui constitue, avec les cloisons le cas échéant, la charpente principale (primaire transversale) d'un navire construit dans le système longitudinal et sur laquelle les lisses prennent appui.*

Poulie. Pièce constituée d'une roue servant à transmettre un mouvement par un cordage.

Poupe. Arrière d'une embarcation

Proue. Avant d'une embarcation

Près. Direction d'où vient le vent

Quille. Pièce de charpente principale des fonds du navire.

Râblure. Rainure (ou chanfrein) pratiquée dans la quille pour recevoir l'élément de bordé directement attenant (galbord).

Redressement. Mouvement de rotation qui s'oppose au chavirement d'un navire.

Rouf. Partie supérieure de l'habitacle d'un navire, constituant un pont surélevé.

Serre. Pièce de charpente longitudinale. Entre la serre-bauquière située sous la liaison pont-coque et la quille, il peut exister de chaque bord une (ou plusieurs) serres intermédiaires appelée serre de bouchain.

Vergue. Pièce maintenue en hauteur par des cordages et servant à déployer une voile de flèche.

Varangue. Pièce de charpente transversale de liaison, dans les fonds, entre membrures (opposées de chaque bord) d'une part et la quille d'autre part.

Virure. Élément longitudinal d'un bordé. Ce terme ne s'utilise que dans les constructions faisant intervenir des panneaux de bordé d'une certaine largeur.

Voile. Pièce de toile destinée à capter la force du vent à bord d'un navire

Tangage. Mouvement d'oscillation d'un navire d'avant en arrière

Tangon. Pièce de gréement allongée et travaillant en flexion destinée à mettre en place une voile d'avant.

Tribord. Côté droit d'un navire par rapport au sens de marche.

Trinquette. Voile d'avant inférieure sur un navire.

BIBLIOGRAPHIE

Cannell, D. & Leather, J. (1976), *Modern development in yacht design*, Dodd, Mead & Compagny, New York.

Chazard, E. (2011), « *Forces aérodynamiques et hydrodynamiques* », disponible sur: http://www.chazard.org/emmanuel_/index.php?option=com_content&view=article&id=84:cata10translation&catid=80:courscatamaran&Itemid=484

Chevreux, C. M. (1991), *Traité de la construction des yachts à voile*, Le Chasse-Marée, ArMen, Douarnenez.

Daryl, P. (1890), *Le yacht: histoire de la navigation maritime de plaisance*, Ancienne Maison Quantin, Libraries-Imprimeries Reunies, Paris.

De Catus J., Soé, G. & Bonnet, C. (1994), *Construction pratique des embarcations et petits yachts en bois*, Le Chasse-Marée, ArMen, Douarnenez.

Dervin, H. (1990), *Traité pratique pour la Construction des Bateaux en bois*, Le Chasse-Marée, Douarnenez.

Dudszus, A. & Henriot, E. (1986), *Dictionary of ship types*, Conway Maritime Press, Londres.

Frey, P. (2010), *Learning from vernacular*, Actes Sud, Arles.

Gutelle, P. (1979), *Architecture du Voilier, Tome 1*, Éditions Maritime & Outre-Mer.

Gutelle, P. (1981), *Les méthodes modernes pour construire son bateau en bois*, Éditions Maritimes & Outre-Mer.

Gutelle, P. (1987), *Architecture du Voilier, Tome 2*, Éditions Maritime & Outre-Mer.

Naito, H. (2006), *Hiroshi Naito innerscape*, illustrée, Birkhäuser.

Presles, D. & Paulet, D. (1998), *Architecture navale: Connaissance et pratique*, Éditions de la Villette, Paris.

Rival, M. (1991), *La charpenterie navale romaine*, Éditions du CNRS, Paris.

Senadi, M. (1994), *Le Cabanon Le Corbusier*, Marval, Paris.

Tabarly, E. (1989), *Pen Duick: Eric Tabarly*, Éditions Ouest France, Éditions du Pen Duick.

Toudouze G.G. (1939), *Histoire de la Marine*, Albert Sebillé; L'illustration, Paris.

Vivier, F. (1991), *Construction bois: les techniques modernes*, Le Chasse-Marée, ArMen, Douarnenez.

White, J. & Mendelowitz, B (1999), *L'eau, la lumière et le bois*, Éditions Van der Velde, Fondettes.

SOURCES ICONOGRAPHIQUES

Pierre Gutelle, *Architecture du voilier Tome I & II*. Henri Dervin, *Construction des bateaux en bois*. Dominique Presles, Dominique Paulet, *Architecture navale*. Fondation le Corbusier. Naito Architect & Associates. Arthur Poley.

