

**GUIDE DE
CONSTRUCTION
INDIVIDUELLE ou
ARTISANALE de
COQUES DE VOILIERS
en ALLIAGE
D'ALUMINIUM**

Jean-François ANDRE

Décembre 2020

AVANT PROPOS

1- Vous avez décidé de vous lancer dans la construction d'une coque de voilier en alliage d'aluminium.

S'il s'agit d'une construction individuelle (amateur) vous serez soumis à la législation Française, c'est à dire la division 240.

La construction d'un navire par un particulier, quelle que soit sa taille n'a pas à être suivie par un bureau de contrôle.

Par contre pour l'attribution de la catégorie de navigation A,B ou C, le bureau de contrôle choisi (il y en a deux en France, l'ICNN et le Bureau Véritas) fera un test de stabilité le voilier à flot en condition légère (le plus défavorable). Ce test a pour but de déterminer avec précision la position du centre de gravité, et de mesurer les hauteurs de franc-bord.

Il doit être fourni au bureau de contrôle le plan en 3D du bateau afin d'en déterminer à partir des hauteurs de franc-bords, le poids.

À partir de ces éléments, le bureau de contrôle calcule le « STIX » nombre sans unité qui tient compte de nombreux paramètres tels que la longueur, la hauteur du centre de voilure, déplacement etc..

Si le STIX est supérieur à 32, c'est la catégorie A, entre 23 et 32, catégorie B et entre 14 et 23, catégorie C.

Ces catégories ne tiennent plus compte de la distance d'un abri comme avec les anciennes catégories A,B,C... mais de l'état de la force du vent et de la hauteur des vagues. Force 9 et 10 mètres de creux pour la catégorie A, ensuite F8 et 8m de creux pour la B, F6 et 4m de creux pour la C..

Ce qui peut être compris comme une autorisation de traverser l'atlantique sur un voilier en catégorie C si vous pouvez convaincre l'administration et les assurances que vous ne rencontrerez jamais plus de Force 6 et 4 mètres de creux...

À l'inverse, si vous rencontrez plus de force 9 ou plus de 10 mètres de creux, c'est que vous n'avez rien à faire là..

Il faut savoir aussi qu'un voilier réalisé par un constructeur amateur ne pourra pas être vendu avant un délai de 5 ans.

2- Si vous êtes un constructeur artisanal de voiliers, vous serez soumis à la réglementation européenne et tenu d'appliquer toutes les normes en vigueur.

Si le bateau fait plus de 12 mètres, un bureau de contrôle devra approuver les plans du bateau pour et uniquement pour le chantier concerné. Il effectuera 3 visites du bateau, une en cours de construction de la coque, une deuxième avant la mise à l'eau et une troisième pour effectuer un test de stabilité comme indiqué ci dessus.

Le rapport du bureau de contrôle vous permettra d'effectuer les démarches d'immatriculation auprès de Douanes et des Affaires Maritimes.

LE LOCAL

Pour travailler efficacement, il faut un minimum de confort.

Ne choisissez pas un local trop petit, il y a beaucoup de matériaux à stocker.

Il doit être entièrement clos, la construction aluminium et la poussière font très mauvais ménage. Un sol bétonné est indispensable.

Pas de courants d'air qui pourraient nuire à la qualité des soudures.

L'OUTILLAGE

- Le poste à souder MIG

C'est le plus important, celui qui fera que la construction sera un plaisir ou une galère...

Un grand bond en avant a été fait ces dernières années concernant la technologie de soudure.

L'électronique y joue un rôle important dans la gestion de l'arc électrique et la fusion du métal.

La soudure est devenue « confortable », plus ou quasiment plus de projections de grains de métal en fusion qui avaient tendance à se glisser partout dans les vêtements.

Il faut une source de courant de 350 à 400 Ampères.

Un dévidoir séparé avec un câble de 10 à 15 mètres entre celui-ci et la source de courant.

Le fil utilisé aura un diamètre de 12/10^{ième} de mm. Un entraînement à 4 galets est préférable.

Une longueur de torche de 3 mètres et bien, une torche plus longue favorise le « bourrage » du fil dans la gaine.

On trouve maintenant des torches avec, intégré dans le corps, une molette ou bouton poussoir permettant de faire varier le courant sans avoir à se déplacer ou arrêter sa soudure.

À mon sens, il ne faut pas hésiter à acheter un poste plutôt haut de gamme. Cher au départ, environ 8000 euros, il pourra aussi bien se revendre. On peut aussi trouver de très bonnes occasions pour de budgets de 3 à 4000 euros.

Les marques Kemppi ou Fronius sont les marques les plus souvent utilisées par les chantiers navals professionnels.



Un poste à souder de marque KEMPPi



La molette de réglage de courant sur la torche.

2- Le découpage

la technologie actuelle avec la découpe plasma ou jet d'eau permet de limiter énormément ce poste. Les architectes fournissent maintenant les fichiers de découpe pour pratiquement toute la coque et sa structure dans le cas d'un bateau a bouchains ou une grande partie si la coque est « en forme » ou « semi-forme ».

Deux techniques sont en concurrence/

- le plasma, pour simplifier, un arc électrique qui fait fondre le métal et un jet d'air qui le chasse permet de bonnes découpe mais avec des « bavures » qu'il faut ensuite enlever a la meuleuse.
- Le jet d'eau, a mon avis préférable par la qualité du résultat. Un jet d'eau, additionné de silice, a très haute pression (4500 bar) permet la découpe très précise de tôles d'alu jusqu'à 160mm d'épaisseur.



La grande qualité de la découpe au jet d'eau, ici le la tôle en acier inox .

Ce serait un mauvais calcul, pour vouloir réduire le budget de se passer de la pré-découpe . Le temps gagné est énorme, pratiquement plus de tracé, un plus grand confort, moins de bruit de meuleuse ou de scie, et moins de limaille en suspension dans l'air.

3- Outillage divers

les meuleuses :

- Une meuleuse /ponceuse de 2000w
- Une meuleuse de 500W



Meuleuse de 2000W

Il faut choisir du matériel de qualité, ce seront des outils très sollicités durant la construction. La meuleuse de 2000w, équipée d'un disque a tronçonner spécial alu (ep.1,9 ou 2,5mm) vous permettra de réaliser des coupes rectiligne ou légèrement incurvées, ainsi que l'ébavurage et le chanfreinage (disque ep.2,5mm ou plus). Équipée d'un plateau souple et de disques a poncer (grain 24 ou 36), vous pourrez meuler les soudures avec un beau fini.

- Scie sauteuse indispensable pour les découpes de petits rayons, hublots, capots etc..

- Pince étau de bonne qualité , au minimum 4.

-



- Il vous faudra également des serre-joints solides qualité chaudronnerie de diverses dimensions.



Autres divers :

- perceuse sur batterie avec forets et scies cloche
- Plusieurs modèles de marteau
- Burins
- Mètre et décimètre
- Réglés de différentes longueurs
- Niveau à bulle
- Niveau laser 2 axes
- Brosses en acier inox

4- L'aluminium

Les tôles seront en alliage référencé 5083 (anciennement AG4,5MC) ou 5086 (anciennement AG4MC).

Les profilés seront en alliage 6005 ou 6082. Le 6060 utilisé pendant des années n'est plus recommandé du fait d'une perte relativement importante de ses qualités mécaniques après soudage. Les fournisseurs d'aluminium sont nombreux, mais il vaut mieux privilégier un distributeur connu pour éviter les problèmes. Exiger de faire apparaître les nuances sur les factures.

Le fil de soudure de diamètre 1,2mm est en alliage 5653 (anciennement AG5MC)

LA CONSTRUCTION DE LA COQUE

1- Envers ou endroit ?

Les coques jusqu'à une longueur de 22/24 mètres se construisent en général à l'envers pour une facilité de bordage et de ponçage des soudures.

Si votre local n'est pas assez haut pour retourner la coque, vous pouvez la réaliser à l'endroit.

Les soudures sont tout à fait réalisables et de bonne qualité dans toutes les positions mais ce n'est pas l'idéal...

2- La soudure

Une belle soudure n'est absolument pas synonyme de bonne soudure, seul le soudeur ou la radiographie peut le dire.

La tôle a-t-elle été chanfreinée suffisamment ? La pénétration est-elle suffisante ?

La soudure ne s'improvise pas. N'hésitez pas à faire un stage qui vous permettra de vous familiariser avec la technique et de prendre « le coup de main ».

Si vous avez un doute, faites appel à un professionnel.

Le local doit être propre, les poussières ambiantes qui viennent se déposer sur les joints à souder provoquent en brûlant des inclusions d'air à l'intérieur des soudures, appelées « soufflures », un peu la hantise du soudeur.

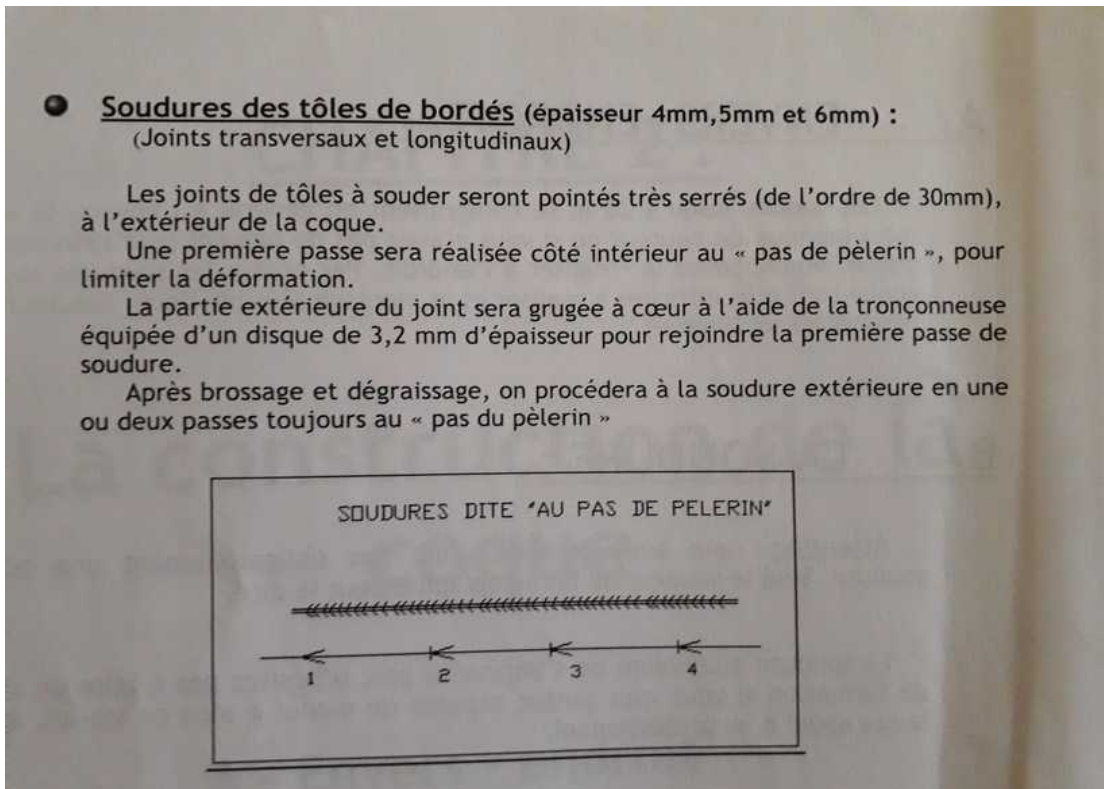
La solution pour réduire ou éliminer ce problème est de bien nettoyer le joint avant de souder par un brossage énergétique avec une brosse en acier inox et de dégraisser à l'acétone.



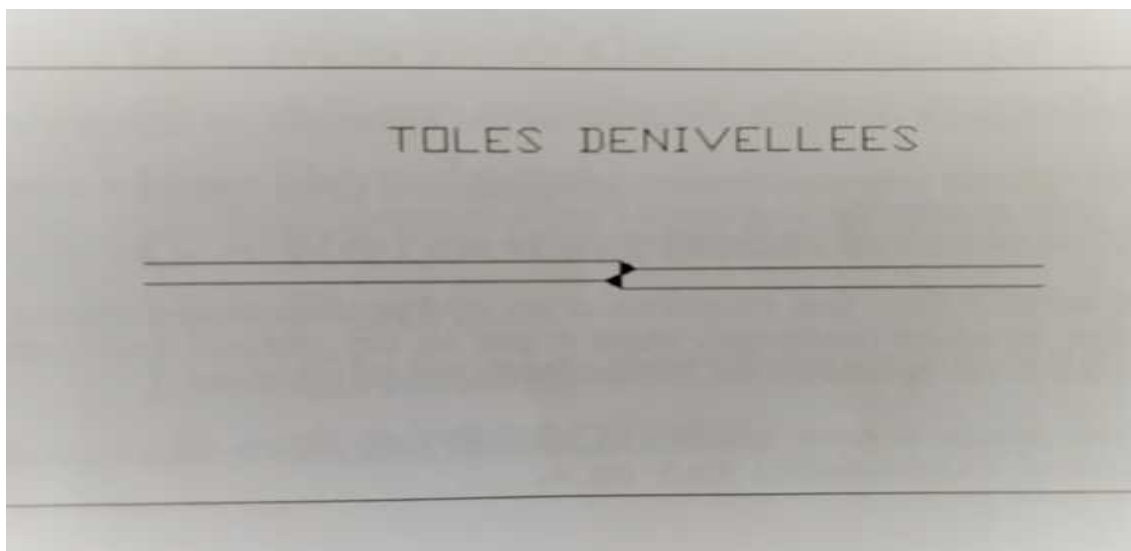
Lorsque les tôles sont posées, les soudures intérieures sont réalisées en premier. Il faut ensuite défoncer le joint à la tronçonneuse à l'extérieur de la soudure de manière à rejoindre le métal sain de la soudure intérieure.

Il est nécessaire ensuite de broser énergiquement le joint à souder pour éliminer les poussières. Dégraisser ensuite le joint à souder avec de l'acétone. Voir photos ci-dessus.

Les soudures se feront suivant la technique dite du « pas de pèlerin »

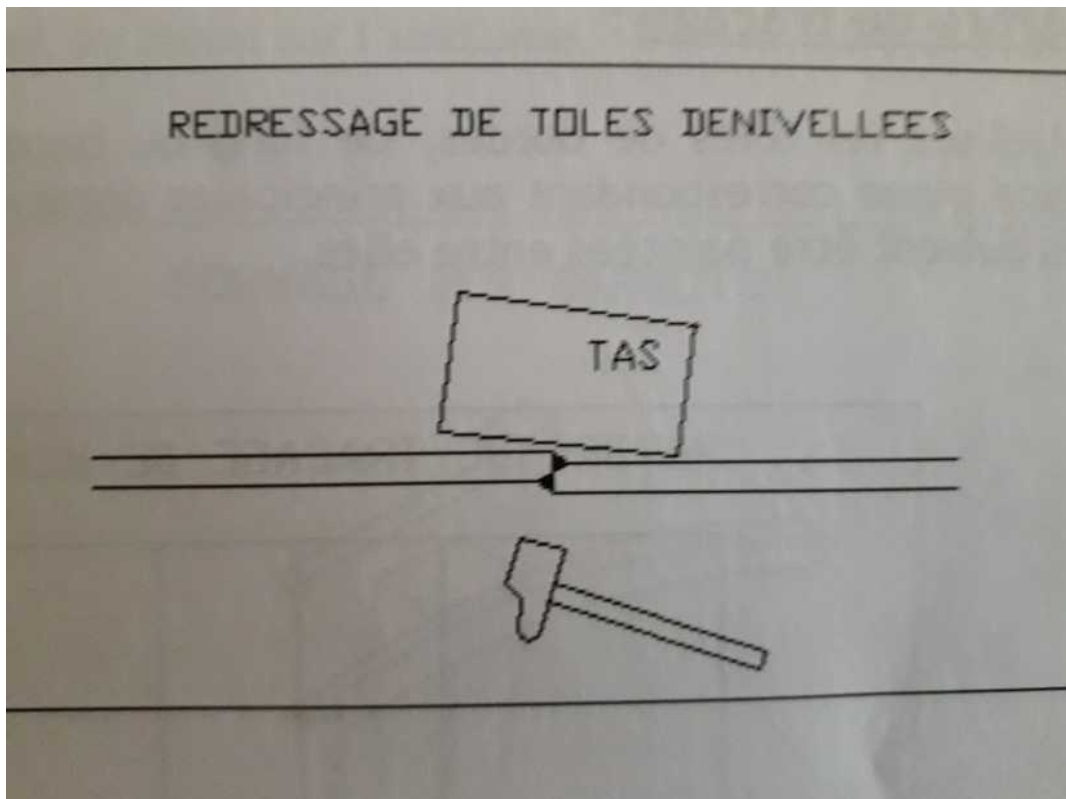


Les tôles soudées bord à bord, même si elles sont pointées serrées peuvent laisser apparaître un dénivelé après soudure.



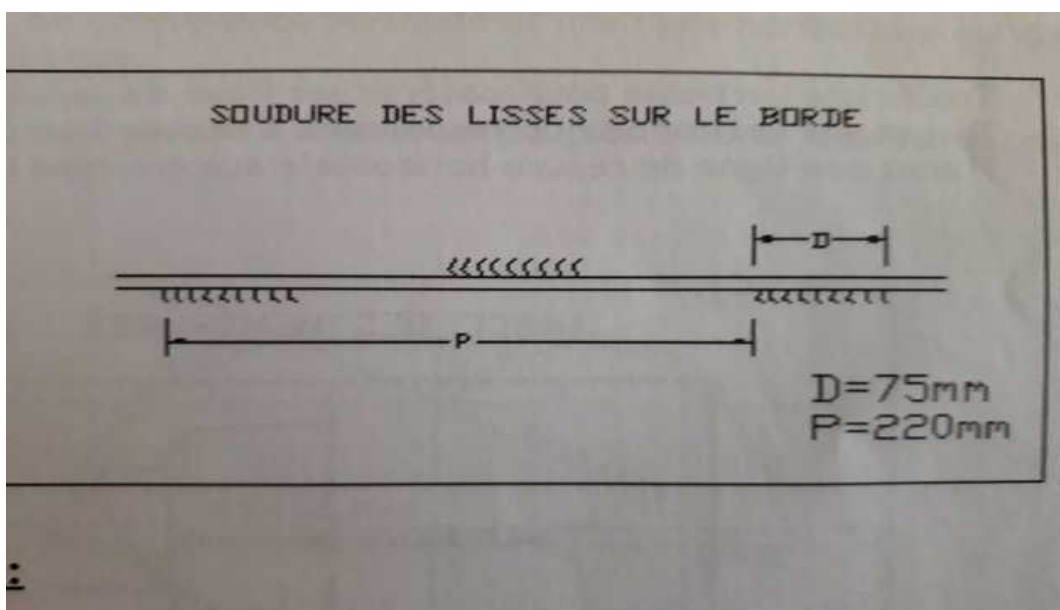
Cela est dû aux tensions dans la tôle qui se relâchent avec la chaleur provoquée par la soudure. Il ne s'agit pas de meuler la tôle en débord pour l'amener au niveau de l'autre, l'épaisseur du bordé

en serait réduit d'autant. S'il s'agit de 2/10ième de mm, ça va...



Il faut marteler la tôle doucement pour les amener toutes les deux au même niveau. Pour cela, utiliser un bloc métallique que l'on pose d'un coté, et on tape de l'autre jusqu'à aligner les deux tôles.

Les soudures de la structure sur le bordé ne sont pas des soudures continues contrairement a ce qui est pratiqué sur les navires de la marine Nationale (on les aperçois d'ailleurs a l'extérieur). La structure est soudée par des points alternés et en quinconce. Mai là il vaut mieux un dessin...



Toutes les soudures de bordé, pont, réservoirs etc.. seront contrôlées par ressuage, ce qui permet de s'assurer de l'étanchéité.

Un produit rouge très fluide en aérosol est passé sur les soudures à l'intérieur de la coque et permet de détecter la moindre fuite. Le produit peut ressortir plusieurs jours après le test.

Attention, ce n'est pas là une garantie de la qualité et de la résistance de la soudure. C'est simplement la garantie que le bateau ne coulera pas le jour de la mise à l'eau.

La vraie garantie de la qualité est la compétence et le sérieux du soudeur, ou alors la radio mais cela demande un budget relativement important.

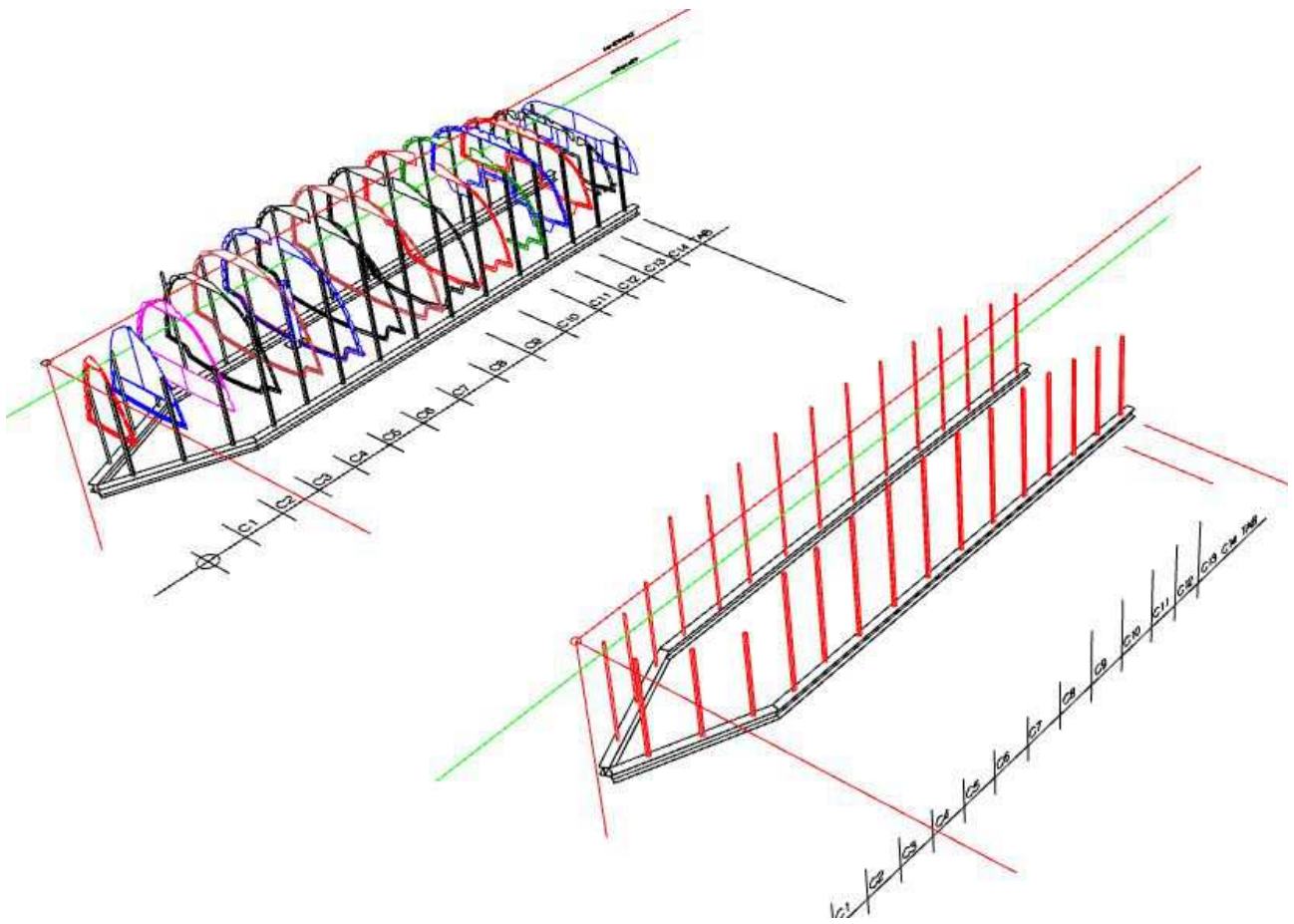
Il est à noter que pour la construction de navires de plaisance, les soudeurs n'ont pas à être certifiés par un bureau de contrôle (Veritas ou autres..) contrairement à ce qui est demandé pour la réalisation de navires professionnels (pêche, passagers etc..).

LE MARBRE

Celui-ci est constitué d'une base en ITN ou IPE de forte section, 180 à 200mm et de cornières verticales en acier de 50mm.



Le plan du marbre peut être fourni par l'architecte mais c'est là un plus car ce n'est pas son travail.



LES MEMBRURES

Ça y est le tas de pièces est arrivé sur palettes, il ne reste plus qu'a faire le tri.
Chaque pièce est référencée, ce n'est pas difficile de s'y retrouver et de stocker les éléments dans l'ordre de la future construction.



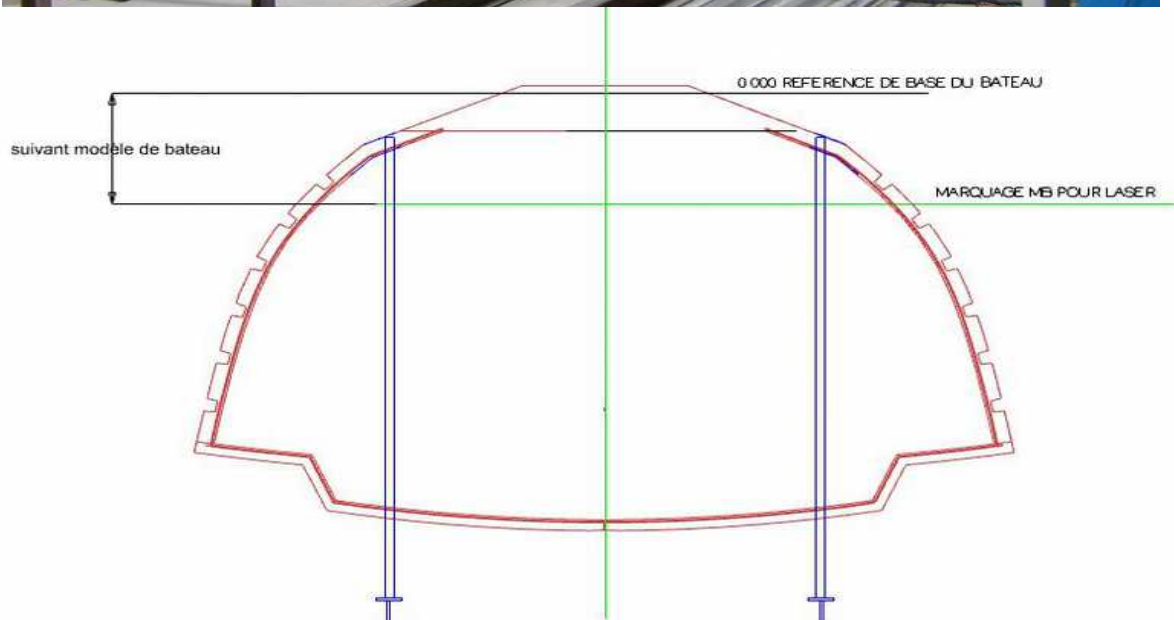
Il faut commencer par la réalisation des membrures, donc il faut sortir de l'ensemble les couples, les varangues et les barrots.

L'assemblage des membrures se fera sur un marbre composé de tôles alu de 5 ou 6 mm d'épaisseur, d'une surface équivalente a celle de la plus grande membrure.





Il faut maintenant aligner les membrures sur le marbre de construction



Sur chaque membrure, lors de l'assemblage sur le marbre de tôles, il sera tracé un repère a une distance qui dépend du plan de l'architecte et du modèle de bateau.

Le laser, positionné dans l'axe du marbre de construction a la hauteur voulue, permettra d'aligner toutes les membrures les unes après les autres.

Positionner le laser a l'arrière du futur bateau permettra de poser les MB de l'avant vers l'arrière sans gêner le passage du rayon laser.

Les MB seront bloquées avec 4 pinces étaux (de bonne qualité rappelons le, c'est important..), avant d'être boulonnées.

Quand toutes les membrures et cloison étanches s'il y a lieu sont posées, on viendra mettre en place le plat de quille aux endroits prévus. Le plat de quille comporte des tracés qui correspondent aux membrures, ce qui garantie le bon espacement de celles-ci.

LE BORDAGE

La technique ci après correspond a la réalisation de coques suivant les plans de l'architecte Jean-François ANDRE. Les coques sont en semi forme, bordé de fond et inter plats et bordé haut arrondi.

Nous allons commencer par la tôle de fond, celle de l'avant.



A ce stade, nous n'avons pas encore posé les lisses en Té, cela permet une meilleure souplesse

dans l'écartement des membrures.

Les tôles de fond comportent des tracés sur les bords extérieurs qu'il faut faire correspondre avec les varangues.

Dès que la tôle numéro 2, en général celle du milieu est posée, on réalisera la soudure transversale après avoir pointé les tôles sur les varangues.

Il faut maintenant poser la tôle d'étrave que l'on aura préalablement formée à la plieuse ou au marteau.

Avant de poser les lisses, il ne faut pas oublier de rentrer le puits de dérive précédemment réalisé.



Il est temps maintenant de poser les lisses. Il peut être nécessaire de les pré-cintrer avant la pose. Pour éviter par la suite des « casses » au niveau des soudures aux membrures..

Les lisses ne seront pas soudées sur les membrures mais simplement pointées pour se garder la possibilité par la suite de déplacer légèrement la membrure si besoin.

Le bordé bas peut être posé sur la structure, cette partie ne pose pas de difficultés, les tôles sont à cet endroit, développables.

Toujours poser les tôles de manière symétrique pour que les tensions dans la coque soient équilibrées.



Il faut souder les tôles aussitôt après la pose, sur la tôle de fond en procédant comme indiqué préalablement, d'abord l'intérieur et ensuite l'extérieur.

A la liaison de 2 tôles de fond (ep.8, 10 ou 12mm) il apparaît des déformations assez importantes après soudure.

Il faut à cet endroit, pointer un Té de 50x50 sur une longueur de 1mètre environ, à 50mm du bord, pour bien faire filer le bord de la tôle.

Si la coque est entièrement à bouchains, il faut procéder de la même manière pour les bordés suivants.

Si la coque est en forme sur les bordés haut, c'est un peu plus compliqué.

Le bordé intermédiaire préalablement posé étant d'une épaisseur moindre, il y aura des déformations assez importantes sur les bords extérieurs.

Il faut procéder comme ci-dessus mais sur toute la longueur du bateau. Ce Té de 50 nous permettra également de faire levier pour amener les bordés du bas, et en même temps de se tenir et d'avoir un rôle de cale pied fort sécurisant quand on meule les soudures des bouchains.



L'ordre de bordage reste le même que précédemment, à partir de l'avant et de manière symétrique.

La première chose à faire est de découper les tôles dans le sens de la longueur comme indiqué sur le plan (si JF ANDRE).

Fabriquer une fausse équerre avec 2 lattes de bois de 80cm environ. Cette fausse équerre vous permettra de relever l'angle entre l'étrave et le bord extérieur de la tôle de bordé au-dessus.

Le cintrage des 2 tôles de l'avant étant faible, le bordage ne pose pas de problème et permet de « démarrer doucement ».

Après avoir positionné la tôle sur la structure, la pointer sur la lisse située environ au milieu sur toute sa largeur.

Ensuite, il faut rabattre la tôle vers le bas jusqu'au livet, la pointer sur les lisses au fur et à mesure, toujours en commençant le pointage du milieu et en allant vers l'avant puis vers l'arrière.

Il faut « étaler » la tôle sur la structure pour ne pas former une espèce (hi hi) de bulle au milieu, celle-ci serait très difficile à résorber. Il suffit de souder les liaisons accessibles, le reste du pointage

pourra se faire le bateau a l'endroit, inutile de se tordre le cou pour réaliser les soudures au plafond. Procéder ainsi jusqu'à l'arrière, le rayon de courbure des tôles étant de plus en plus petit, le bordage est de plus en plus difficile.

Il put être intéressant de souder un taquet la l'intérieur de la tôle, vers le haut pour y fixer un petit Tire Fort. Pour l'ajustage du bordé cintré sur le bordé du haut, on peut utiliser un pied de biche en faisant levier sous l'aile du Té préalablement soudé.



Un morceau de té pointé permet de faire levier sur l'une des tôles pour les amener bord a bord.

Un gros tournevis est indispensable.

La tôle que l'on pose doit être meulée au fur et a mesure du cintrage pour laisser un minimum du jour entre les deux tôles.



Il faut maintenant couper les tôles de bordés au niveau du livet.
Avec une perceuse et un foret de 2mm, percer les tôles au droit des barrots de pont, a chaque membrure.

Tracer une ligne passant par tous les trous avec une latte souple en bois ou un plat d'alu et découper a la tronçonneuse tout le livet.

Encore un peu de travail avant de retourner la coque.

Le puits de dérive a été positionné entre les varangues, les renforts sont posés et soudés.
Il faut a ce stade monter la dérive avec ses glissières de manière a s'assurer de son bon fonctionnement. Le maximum de soudures autour du puits doit être réalisé avant les essais.

Les soudures déforment toujours les structures métalliques, nous ne sommes pas dans la mécanique mais dans la mécano-soudure. Cela entraîne des déformations et les glissières en Ertacétal seront usinées en fonction.

Après la dérive, il faut poser le tube d'étambot et l'aileron d'hélice, c'est beaucoup plus facile quand le bateau est encore a l'envers.



LE RETOURNEMENT

Si vous avez la chance d'être dans un local comportant un pont roulant, tout va bien, sinon ,c'est un peu la « débrouille »

Personnellement, j'ai souvent utilisé une méthode un peu « tourne broche ».

Un tube soudé a peu près au centre de gravité vertical de la coque et 2 palans qui ceinturent la coque au niveau du tiers arrière. Le tout pris dans la charpente, renforcée localement si besoin.



LE PONT

Le plus difficile est terminé, c'est vrai, mais en quantité de travail, on n'en est pas encore à la moitié.

La première chose à faire à ce stade, pendant que la coque est toute propre, c'est de terminer les soudures lisses/ bordés et toutes celles qui ont été oubliées.

Avant de réaliser le pont, la lumière permettant une bonne visibilité des fonds, il est intéressant de réaliser les réservoirs de Gas-oil, les bacs à plomb, le châssis moteur, le ou les tubes d'étambot et renforts d'aileron d'hélice.



Il est temps de passer au montage du pont.

Pas de problème particulier, plus de tôles lourdes, elles sont développables, prédécoupées pour la plupart. En gros, plus d'efforts physiques importants. (à part 2 ou 3 grandes tôles à monter)

C'est sans doute la partie la plus intéressante de la construction de la coque, on voit une belle évolution tous les jours.

Les tôles utilisées étant d'une épaisseur de 4mm, elles ont tendance à se déformer davantage à la soudure que les tôles de la coque. Il faut les pointer serré pour limiter le redressement surtout sur les grandes soudures transversales du pont et du roof.

Il est intéressant de souder les pieds de chandelier le plus rapidement possible, à défaut des provisoires pour y installer une ou deux filières. Le pont recouvert de limaille est très glissant et si vous vous le savez, vos nombreux visiteurs ne sont pas au courant.



Comme pour la coque, un té de 50 permet un bon alignement du bord de la tôle de roof





L'aluminium permet de faire des belles choses...

J'espère que ce fascicule vous aura aidé a vous faire une opinion plus précise de ce qu'est la construction en aluminium. C'est une technique qui n'est pas particulièrement difficile mais qui demande beaucoup de soin et de précision. Il faut limiter au maximum les déformations et passer certainement beaucoup de temps au redressage des tôles.

Une menuiserie un peu bancale ou sommaire peut-être améliorée par la suite, c'est facile a refaire...pas la coque. Un jour le bateau changera de propriétaire, ce serait dommage de se priver d'une bonne valeur marchande et d'une partie de la clientèle potentielle pour quelques heures de marteau.

J'ai toujours trouvé agréable de travailler l'aluminium, c'est probablement le matériau le plus rapide a mettre en œuvre pour des bateaux a l'unité. Quand c'est soudé, c'est fini.. pas besoin d'attendre que ça sèche pendant des heures, juste que ça refroidisse un peu.

Bon projet. Et bonne construction.

Jean-François ANDRE le 22-12-2020