

Le mât en bois

L'objectif de ce chapitre est de vous donner des éléments pour: calculer la résistance du mât, des pistes sur la fabrication du mât, l'étambrai et la tête de mât, ainsi que quelques mots à propos des lattes, bômes et vergues.

Le titre est assez ambitieux. Peut-être qu'un jour, le texte associé lui rendra raison, mais à présent, je vais plutôt présenter quelques exemples, avec la méthode présentée dans Practical Junk Rig (PJR), ainsi que sa version modifiée par mes soins. Mon expérience se limite à des mâts auto-portés en spruce, pleins ou creux. Après avoir lu ce chapitre, vous devriez vous sentir un peu moins perdu dans le cas où vous voudriez gréer un bateau entre 1 et 10 tonnes à l'aide d'un mât en bois.

Malena 1994, 6 paneneaux



Johanna 2003



Edmond Dantes 2006, virement



Peregrine 2005



Zuleika 2004

1. Echantillonnage d'un mât en bois

Définir le bon échantillonnage, pas trop solide et lourd, pas trop léger et fragile, est un défi sans fin pour n'importe quel ingénieur, qu'ils dessinent des ponts, des avions ou des gréements de jonque. Les efforts subits par un mât de voilier ne sont pas faciles à prédire. Cela aide cependant de regarder autour de soit et d'aller voir ce qui se fait sur les voiliers. Il existe aussi des formules qui facilitent les calculs, mais il faut les prendre avec un certain scepticisme.

Des exemples de mâts de gréements de jonque en bois

Ici, quelques exemples de mâts que je connais :

Malena, 7.1m/1400kg
surface de voile) $SA=32m^2$
hauteur au dessus de l'étambrai $LAP=8.4m$
Diam= 21cm, creux, creusé
Epaisseur de paroi 25% du diamètre.

- Le mât de Malena est largement sur-dimensionné. Avec 70kg sur ce petit bateau, on perçoit bien son poids. Avec le recul, je pense qu'un diamètre de 19 cm aurait été suffisant.

Johanna, 8.85m/3000kg

SA=48m², LAP=9.4m

Diam=25cm, creux, creusé

Epaisseur de parois de 20% du diamètre

- Le mât de Johanna est plutôt solide, mais pas aussi sur-dimensionné que celui de Malena. C'est un mât qui résiste à tout, y compris à percuter une roche à 5.5kts, en qui j'ai confiance. Il pèse environ 90kg. Je pense que sa prise au vent de 1,6m² peut être un problème plus important que son poids dans une situation vraiment tempêteuse.

Edmund Dantes (ED), 9.4m/4000kg.

- ED est la copie conforme du gréement de Johanna. Avec un déplacement plus grand et une quille plus lourde, il soumet le mât à des efforts plus importants. Cependant, le facteur de sécurité semble si haut que le mât reste tout droit, sans l'ombre d'un fléchissement indu.

Peregrine, 11.3m, 12000kg

SA=80m²

LAP=12.3m

Diam=32cm plein en sapin de Douglas.

- Peregrine a déjà subi des tempêtes au large et y a bien résisté. Son mât de 300 kg a l'air de bien fonctionner. J'adorerais le creuser pour diminuer son poids de 30%. Le mât de Peregrine est limite fragile.

Zuleika, 8.5m, 5000kg

SA=33m²

LAP=9.14m

Diam=24cm creux, en lattes collées

- Zuleika a beaucoup voyagé et n'a jamais perdu son mât. Assez solide.

Jester, 7,6m, 2.1t

SA=22m²

LAP=9.4m

Diam=18.14cm creux, en lattes collées

- Les deux Jester 1 et 2 ont parcouru de nombreux miles mais ont tous les deux perdu un mât. Tous les calculs ci-dessous suggèrent un diamètre plus important.

Formule de calcul du diamètre d'un mât de gréement de jonque

Hasler and McLeod, dans PJR (Practical Junk Rig), donnent la formule suivante pour un mât creux :

$$D[\text{cm}] = \frac{LAP[m] + 2\sqrt{SA[m^2]}}{0.85}$$

(ajouter 13% pour la misaine et réduire de 10% pour un mât plein)

L'expérience montre que c'est très conservateur à moins que vous n'ayez un ratio surface de voie/déplacement (SA/dep) autour de 14. Dans la plupart des cas, le résultat sera un mât lourd et sur-dimensionné.

Comment dévoyer la formule du PJR

Lorsque j'ai conçu mon premier mât de jonque, j'ai essayé d'utiliser la formule du PJR telle quelle, mais le résultat proposait un mât tellement lourd qu'il en était inutilisable. Cette incompatibilité, vient du fait que la formule semble avoir été adaptée à des bateaux peu voilés. Aujourd'hui, avec plus d'expérience, je pense que la formule de PJR est adaptée à des ratios SA/dep de l'ordre de 14. Cependant, j'ai une

perception complètement différente sur une bonne valeur de la surface de voile sur un petit bateau : tout SA/dep en dessous de 20 me paraît ridiculement petit Je vise généralement 23 à 25, dans la mesure où je peux manipuler la drisse et l'écoute. Souvenez-vous de la litanie à propos de la faciliter à réduire la toile sur un gréement de jonque ! Cette litanie tient la route dans la vrai vie... et on peut donc en toute sécurité mettre beaucoup de voile.

Note : Pas aussi vrai sur les gros bateaux, lorsque l'espace sur le pont et les performances humaines limitent, en pratique, la surface de voile.

Si vous voulez utiliser la formule du PJR, mais avec un SA/dep disons de 20, je vous propose l'astuce suivante :

- Tracez le gréement avec la surface de voile voulue et mesurez le LAP du mât.
- Avec le déplacement du bateau, calculez une surface de voile fictive pour avoir un SA/dep de 14.
- Utilisez cette SA fictive avec le vrai LAP dans la formule du PJR pour trouver le diamètre du mât à l'étambrai.

Note : j'ai utilisé mon Marieholm IF, Ingeborg à titre d'exemple

- Déplacement, Dep. = 2150kg
- Surface de voile, SA = 35M2
- Hauteur du mât au dessus de l'étambrai, LAP = 8.7m

La formule pour le ratio SA/DEP = $SA(m^2) / (Dep (tonnes) / 1,025)^{2/3}$

Pour Ingeborg $SA/DEP = 35 / (2,15 / 1,025)^{2/3} = 21,4$

La raison pour diviser le déplacement en tonnes par 1,025 est que la formule a été établie pour un déplacement en eau salée. Comme l'eau salée est 1,025 fois plus lourde que l'eau douce, il faut corriger pour obtenir le même résultat qu'avec la formule en mesures impériales. (Voir l'annexe)

Pour trouver la surface de voile fictive qui donne un ratio SA/Dep. = 14, on peut détourner légèrement la formule ci-dessus :

La surface de voile fictive **SA14** = $14 * (Disp. : 1.025)^{2/3} = 14(2.15 : 1.025)^{2/3} = 22.9m^2$

En utilisant cette SA fictive dans la formule originale de PJR pour un mât creux, on trouve :

$D(cm) = (LAP(m) + 2 (SA(m^2))^{1/2}) / 0,85 = (8,7 + 2(22,9)^{1/2}) / 0,85 = 21,5 \text{ cm}$ (versus $D=24\text{cm}$ avec $SA = 35 \text{ m}^2$)

En comparant avec les résultats que nous trouverons dans le chapitre 6b sur les mâts hybrides, cette formule dévoyée de PJR produit des mâts assez robustes, et dans ce cas, à peu près trois fois le moment de redressement maximum de Ingeborg. Cependant, je n'y change rien car la résistance réelle du bois peut varier pas mal. Je reconnais que ce mât peut naviguer au large sans problème.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques réelles des bateaux et les diamètres de leur mât en bois, et selon les formules au niveau de l'étambrai.

Bateau, déplacement et surface de voile	Type de mât. Diamètre du mât à l'étambrai.	Diamètre calculé d'après la formule de PJR	Diamètre calculé d'après le PJR mais avec un ratio surface de voile sur déplacement de 14
Malena, 1.4t, SA=32sqm	21cm, creux, spruce	23.2cm (LAP=8.4m)	19.7cm (fict SA=17.5sqm)
Johanna, 3t, SA=48sqm	25cm, creux, spruce	27.3cm (LAP=9.4m)	23.7cm (fict SA=29.1sqm)
Edmond, 4t, SA=48sqm	25cm, creux, spruce	27.3cm (LAP=9.4m)	25.0cm (fict SA=35.3sqm)
Peregrine, 12t, SA=80sqm	32cm, plein, pin Douglas	31.9cm (LAP=12.3m)	31.5cm (fict SA=73.4sqm)
Zuleika, 5.0t, SA=33sqm	24cm, creux., lattes collées	24.2cm (LAP=9.14m)	25.8cm (fict SA=40.0sqm)
Jester, 2.1t? SA=22sqm	18.1cm, creux., lattes collées	22.1cm (LAP=9.4m)	22.3cm (fict SA=23.0sqm)

Ces exemples donnent une estimation du diamètre d'un mât en bois pour votre bateau.

2. Fabrication d'un mât en bois

Pour fabriquer un mât en bois, il y a fondamentalement deux méthodes, soit à partir de planches sciées ou soit à partir d'un tronc d'arbre. Honnêtement, à moins de disposer de planches de la longueur du mât, je ne recommanderais pas aux constructeurs amateurs de fabriquer un mât à partir de lattes. Même avec des planches longues, il faut être un bon charpentier amateur, à moins de faire simple avec un mât en quatre planches (voir le gréement de Summer sur le PJR).

Le mât de Sumner étant constitué de quatre planches collées, le travail de défonçage paraît une bonne idée pour un amateur. Avec uniquement des angles droits à raboter et deux fois deux planches identiques à fabriquer, je pense que même moi, je devrais y arriver. Le collage peut être fait par phases, sans avoir besoin de coordonner 10 paires de mains bénévoles. Vous n'avez pas besoin d'être un pro de la logistique ni un chef d'orchestre.

Quelque soit la méthode utilisée, de réduire le diamètre à 40-43% en tête de mât et de 50% en pied de mât du diamètre à l'étambrai, semble répartir uniformément les charges sur le mât.

Note : Le rétreint du mât de l'étambrai à la tête de mât doit être linéaire. Le mât, au-dessus du pont doit être un cône tronqué allongé. Il faut aussi garder une partie de 40cm cylindrique au niveau de l'étambrai. (Voir la figure 6, qui montre le plan de fabrication du mât de *Johanna*).

Fabrication d'un mât creux ou plein à partir d'un tronc d'arbre

Façonner le mât

Dans mon pays il y a plus de spruce que d'habitant et ils ne sont pas chers. Voici comment nous faisons :

- On utilise du spruce ou du sapin, si possible venant du voisinage. Il est meilleur s'il a grandi lentement. Si les derniers cercles montrent qu'il a grossi plutôt rapidement, il peut encore être utilisé mais il ne sera pas tout à fait aussi solide. Il faut se rappeler que la solidité d'un mât varie comme le cube du diamètre. Si l'on augmente le diamètre de 5%, la solidité va être augmentée de 16%, et si vous l'augmentez de 10% vous obtenez 30% de solidité supplémentaire. Simple !
- Si possible partez d'un tronc brut. S'il est sec et fendillé, je ne m'en servais pas, tout du moins pour faire un mât creux.
- Façonner le mât suivant le plan de construction, d'abord en 4 faces puis en 8 faces.
Note : Vous pouvez vouloir garder une section à 4 faces pour le pied de mât, auquel cas, gardez la partie sous le pont en 4 faces en attente.
- Si vous voulez garder un mât plein, environ 40% plus lourd qu'un mât creux avec 20% du diamètre comme épaisseur de parois, vous avez quasiment fini. Si vous êtes partis d'un tronc brut, prenez une scie circulaire et faites une entaille tout du long du mât. L'entaille doit être ajustée pour atteindre environ le milieu du mât. Pendant que le mât va sécher, l'entaille va s'ouvrir et libérer les tensions qui, autrement, auraient créé des crevasses en surface.
- Avant de laisser sécher le mât, vous pouvez continuer à le raboter en lui donnant 16 faces, etc, jusqu'à ce qu'il soit rond. Attendre la fin du séchage avant de le poncer.
- Si vous travaillez bien le bois et souhaitez faire un mât creux, coupez maintenant votre mât en deux (Dans le sens de la longueur, s'il vous plaît !).
- Les deux moitiés doivent être creusées grossièrement avec une herminette ou, plus sûr, un GROS ciseau à bois rond. (J'ai fait faire ce travail par un charpentier de marine).
- "Refermer" le mât en intercalant des lattes pour garder les deux moitiés légèrement séparées. Attachez-les ensemble pour être certain qu'elles ne vont pas se vriller pendant le séchage.
- Avant de laisser sécher le mât, creux ou plein, il faut peindre les extrémités pour ralentir le séchage dans ces zones. Le reste du mât peut être laissé sans traitement. Je suggère de le mettre à sécher dans un hangar ventilé, protégé de la pluie et du soleil.

Séchage

Le processus de séchage est assez rapide, que le mât soit plein ou creux.

Un mât plein de 32cm de diamètre a été mis à sécher en plein soleil (OK, par 59° de Latitude et sous une bâche en plastique) avec ce trait de scie longitudinal. Le trait de scie s'est ouvert de près de 2cm et après six mois, lorsque le trait de scie a cessé de s'ouvrir, le mât a été déclaré sec. Il n'y avait aucune crevasses dans le mât.

Après environ 6 mois, lorsque le séchage est terminé, il est temps de finir le mât.

Terminer un mât plein

- Le trait de scie que vous avez fait s'est maintenant ouvert tout le long du mât mais pas uniformément.
- Homogénéiser la fente avec une défonceuse, en vérifiant que l'entaille soit suffisamment profonde pour recevoir le tube dans lequel passeront les câbles électriques.
- Installer le tube.
- Coller à l'époxy des lattes pour boucher la fente.

Terminer un mât creux

- Avant de recoller les deux moitiés de mât, il vaut mieux raboter ou poncer la partie intérieure pour diminuer encore un peu le poids. Le charpentier de marine qui me l'a fait a modifié un rabot pour lui donner une semelle arrondie tout en arrondissant également le fer.
- L'intérieur est ensuite enduit d'époxy et le tube guide des câbles installés.
- Enfin, l'on remplit la cavité, sur toute la hauteur du mât, de papier d'aluminium froissé. Un très bon réflecteur radar.
- Le couvercle est collé à l'époxy et maintenu avec de nombreux serre-joints, mais même pas la moitié de ce que nous avons utilisé pour coller la latte dans l'entaille. De garder le mât avec 8 faces facilite grandement le positionnement des serre-joints.
- Une fois l'époxy sèche, on peut finir l'extérieur du mât.

Le revêtement final du mât

Un mât en bois a toujours besoin d'être protégé. Le plus important est de s'assurer que l'eau ne pourra pas s'infiltrer et stagner. Vous voudrez aussi une surface qui ne va pas demander des travaux de maintenance périodique.

Le mât creux de *Malena*, fabriqué en 1995, a été recouvert d'une fine couche de roving de verre imprégnée d'époxy, puis de 7 couches de vernis Polyurethane à deux composants.

Note : Le vernis est devenu opaque vers 2010.

J'ai utilisé le même principe sur *Johanna*, mais avec de la peinture blanche à la place du vernis pour avoir une meilleure protection contre le soleil. J'ai aussi vu quelques mâts qui étaient vernis avec du Coelane, un vernis mono-composant, et cela semblait bien aussi. Je suggère de faire un travail sérieux ; vernir un mât tous les ans n'est pas très drôle.

Pour finir, sur mes mâts, je recouvre la partie autour de l'étambrai avec deux couches supplémentaires de roving de verre imprégnée d'époxy, pour être sûr que les fibres du bois ne soient pas écrasées par les cales qui maintiennent le mât en place.

Voilà, c'est tout ce que je sais sur la fabrication des mâts en bois.

Si vous n'avez pas la chance d'habiter dans un lieu où les arbres sont nombreux et pas chers, je suggère que vous vous mettiez en chasse de lampadaires, ou autre, en aluminium ou en fibre de verre. Cependant, je n'en connais pas assez pour être en mesure de proposer des conseils sur le sujet.

Note : Maintenant, vous pouvez aller lire le chapitre Chapter 6b qui traite des mâts hybrides aluminium-bois .

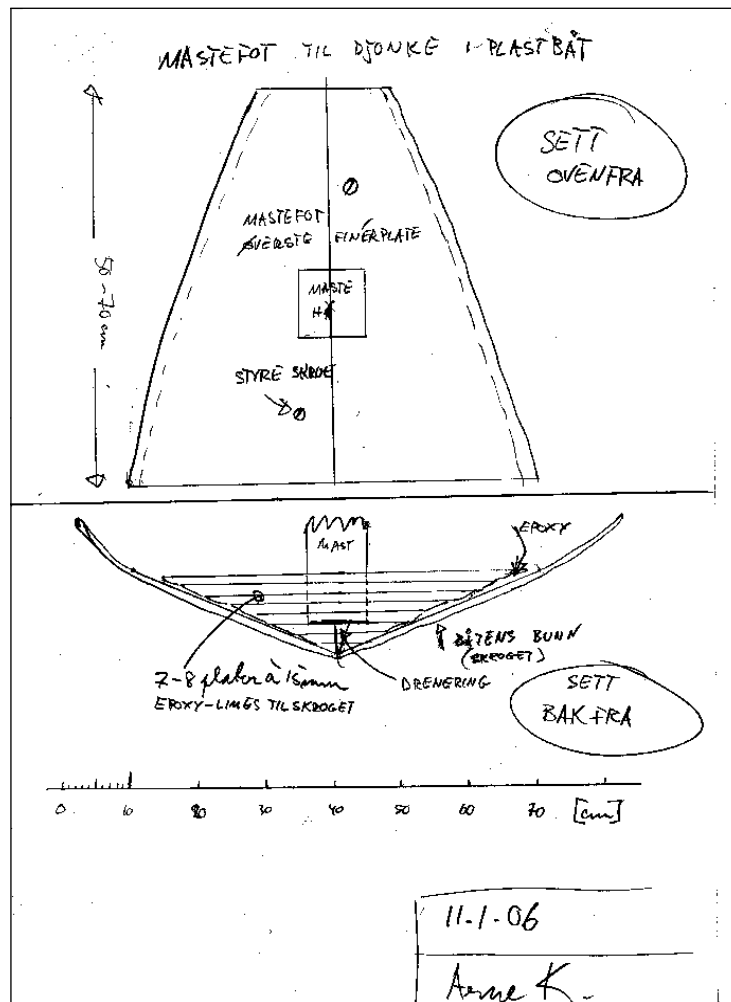
3. Le pied de mât, l'étamerai et la tête de mât

Note : il y a des liens en annexe

Pied de mât

J'aime bien le contreplaqué epoxy pour fabriquer toutes sortes de choses : des équipets, des coffres, des chaises de moteur hors-bords, etc, et maintenant des pieds de mâts. Je n'ai réalisé des pieds de mâts que sur deux bateaux qui ont tous les deux des coques en polyester solides. Je ne sais pas si c'est la meilleure méthode mais elle a bien marché pour moi. Un avantage est que l'on procède pas à pas. En plus, je pouvais voir le résultat final avant que cela ne soit gravé dans le marbre (lire : avant de commencer à mélanger l'époxy).

Aller voir la figure 6. Le concept est d'empiler les couches de contreplaqué avec un trou au milieu pour y emboîter le pied de mât. Cela assure une énorme surface de contact avec la coque pour l'empêcher, à jamais, de se décoller.



Un croquis sommaire d'un pied de mât que j'avais fait pour un suédois, ce qui fait que j'ai oublié d'écrire en anglais, mais il se comprend quand même.

Montage à blanc du contreplaqué

- Caler le bateau pour qu'il soit de niveau. S'il est à flot, garder un niveau à portée de main pour vérifier que le bateau ne penche pas quand vous ferez les mesures critiques.
- Percer un petit trou de guidage dans le pont, là où sera le centre du mât. Le pied de mât doit être réparti, d'avant en arrière, symétriquement vis à vis de la position du mât.
- Marquez la position du pied de mât sur la coque et poncez la zone avec une meuleuse d'angle. Il faut retirer le gelcoat et la peinture. Il ne doit rester qu'une surface rugueuse de fibre de verre.
- Gardez un aspirateur à portée de main et nettoyez régulièrement sinon la poussière va rapidement transformer le bateau en chantier.
- Ajustez à blanc le premier morceau de contreplaqué puis maintenez-le en place solidement avec du ruban adhésif. Le mât va s'appuyer sur cette planche. En la faisant plus étroite que le mât, il sera facile d'y faire des drains pour que, éventuellement, l'eau puisse s'évacuer.
- Ajustez les couches suivantes une par une jusqu'à obtenir une hauteur de 8 à 10cm où jusqu'à ce que la surface de contact avec la coque soit suffisante (environ 60x60cm). Chaque couche est vissée sur la précédente par deux vis moins longues que les deux épaisseurs de contreplaqué. Je recommande de percer des pré-trous pour les vis et d'utiliser des vis à métaux. Elles ne sont pas là pour bien tenir mais plutôt pour servir de guide lorsque l'on démonte et remonte le pied de mât plusieurs fois. Bien sûr il faut des têtes fraisées plates.
- Une fois chaque couche de contreplaqué ajustée, marquez son emplacement sur la coque avec un feutre fin.
- Note : Lorsqu'on ajuste les bords du contreplaqué sur la coque, l'ajustement n'a pas besoin d'être précis. Cependant, il ne devrait pas y avoir de manque de plus de 2 à 4 mm entre la coque et le contreplaqué. La raison en est que lorsqu'on colle, on ne souhaite pas avoir de grands blocs d'époxy qui pourraient « se détacher », *je sais de quoi je parle...* donc, si par accident vous faites une planche qui a trop de jeu, jetez-la et recommencez.

Fabrication de l'emplanture du mât dans le pied de mât

- Suspendez un fil à plomb, un gros boulon fera l'affaire, à travers le trou de guidage dans le pont et marquez le centre du mât sur le pied de mât. Vérifiez et revérifiez que vous êtes bien sur la ligne médiane du bateau.
- Tracez l'emplanture du mât, sans jeu, démontez le contreplaqué et sciez l'emplanture du mât.
- Revissez-le sur le pied de mât et utilisez-le comme guide pour tracer l'emplanture sur la couche d'en dessous.
- Répéter ce processus de dévissage, sciage, remise en place, traçage, etc, jusqu'à atteindre la planche la plus basse, celle qui supporte le mât. Vérifiez et revérifiez que la position de la planche du bas est bien tracée sur la coque.
- Si le mât est accessible, on peut même reconstituer le pied de mât, y compris la planche du bas, en dehors du bateau, grâce aux vis de guidage pour vérifier à blanc sur l'emplanture sur le mât. L'ajustement devrait être celui d'une main dans un gant.

Mon premier pied de mât, sur Malena, avait un peu trop de jeu. Lorsque le bateau tanguait, on entendait les couinements du mât qui bougeait dans l'emplanture. J'ai mis du temps à trouver d'où venait ce bruit. Le problème a été résolu en insérant en force deux cales larges mais fines ; ça marche bien.

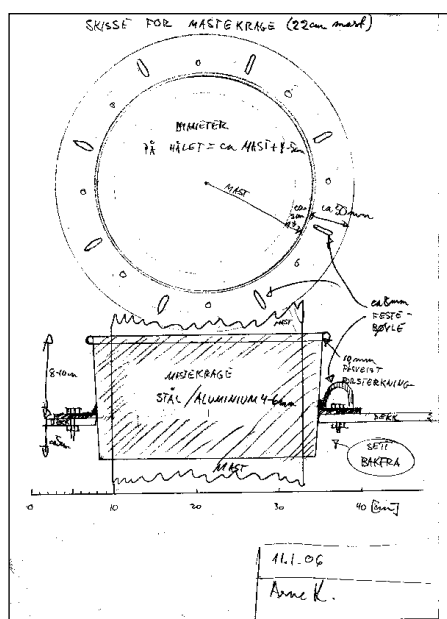
La fixation du pied de mât

- Je fixe le pied de mât, couche par couche. J'ai l'impression de mieux contrôler ainsi.
- Imprégner complètement chaque couche du pied de mât avec de l'époxy. insister sur les chants, mais ne bouchez pas les trous des vis de guidage. Si la surface séchée reste cireuse, nettoyez-la avant la fixation. Je les ponçais légèrement avant de les ré-enduire de colle. Il faut enduire les pièces d'époxy principalement pour être certain que le bois ne boive pas l'époxy du collage. Encore une fois, *le pied de mât est une pièce qui ne doit jamais mais jamais faillir.*
- Je recommande de placer d'abord la planche du bas, puis de laisser l'époxy sécher avant de fixer les suivantes.
- Vous avez déjà compris la suite : mélanger l'époxy et coller couche après couche sur celle d'en-dessous et sur la coque.
- Une fois terminé, essuyez les coulures d'époxy dans l'emplanture. Le lendemain, vous pouvez également passer une dernière couche d'époxy non chargée sur l'ensemble. Vous aurez envie d'être certain que votre pied de mât est bien fixé.

L'étambrai

Si votre gréement est conçu avec le mât qui passe à travers la pointe avant, et non pas à travers le roof, il n'y aura pas forcément besoin de beaucoup de renfort du pont au niveau de l'étambrai.

Sur *Malena* et *Johanna* une plaque d'environ 60x60cm en place de contreplaqué de 15mm a été collée sous le pont à l'emplacement de l'étambrai. Elle sert principalement à répartir l'effort des 8 boulons qui tiennent le collier de l'étambrai, en acier ou en aluminium. *Malena* et *Johanna* ont un pont en sandwich balsa et sans une plaque de renfort en dessous, les boulons pourraient écraser la peau en verre polyester du sandwich. Une règle empirique demande à ce que la distance entre le pied de mât et l'étambrai, *bury* en anglais, soit au moins égale à 10% de la hauteur du mât au dessus du pont (LAP).



Un rapide croquis de l'étambrai. Vous pouvez probablement faire mieux.

Le collier de pont ci-dessus est un travail de chaudronnerie simple, en aluminium ou en acier. Il pourrait être conique, comme sur le croquis. Honnêtement, les miens ont toujours été faits cylindriques et cela semble marcher tout aussi bien. Ils ont été fabriqués à partir d'acier de 4mm, avec un jonc de 8mm soudé en haut, puis galvanisé. Il est fixé au pont par 8 boulons après avoir été ajusté, avec un lit de mastic d'epoxy chargée posé sous la collerette, pour être perpendiculaire au mât.

Pour être honnête, une petite fuite est apparue rapidement quelque part au niveau du mât sur Johanna. Après plusieurs essais infructueux, j'ai fini par peindre le collier en acier et le pont autour, avec de la peinture polyurethane à deux composants. Elle s'est infiltrée partout et, probablement, dans un interstice entre la collerette et l'epoxy, et la fuite a disparue..

