



Les Matériaux Composites

Comme l'indique leur nom ce sont des matériaux composés de divers éléments ! En construction navale on utilise principalement des tissus, de la résine, du bois, et des mousses synthétiques. Les tissus sont à base de fibre de verre, de carbone ou de kevlar. Les résines appartiennent à la famille des polyesters, des époxydes ou des polyuréthanes. Dans les sandwichs le bois servant d'âme sera du balsa, et parfois du contre-plaqué. Enfin les mousses servant d'âme seront des P.V.C ou des polyuréthanes.

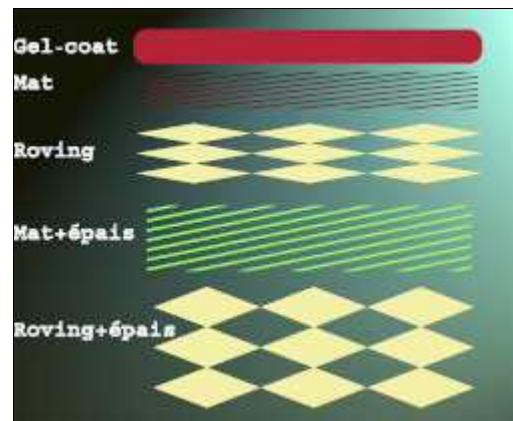
Terminologie : La matrice, désigne le matériau qui sert à assembler les différents éléments de l'armature. Ce sont les résines. Les renforts (les tissus), constituent l'armature du matériau. C'est en partie eux qui déterminent les performances mécaniques de la structure.

LE STRATIFIÉ POLYESTER

Composition d'un stratifié monolithique : De l'extérieur vers l'intérieur

- Une couche de gelcoat
- En France vient ensuite un mat de surface, de faible grammage généralement de 100 à 300 gr/m². Aux États-Unis ils utilisent des tissus de faible grammage 50gr/m² environ.
- Ensuite on alterne les couches de mat et de roving jusqu'à l'obtention de l'épaisseur désirée.

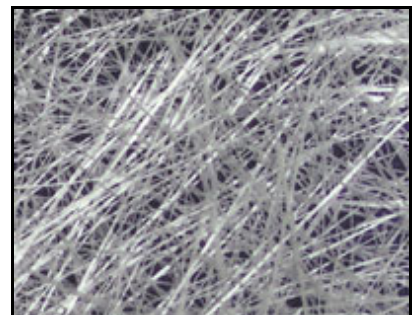
Souvent la dernière couche est un roving qui donne un meilleur aspect et résiste mieux en cas de déformation de la coque du à un enfoncement.



Le **gelcoat** est un mélange de résine, de silice colloïdale, et de pigments. Ce produit à la consistance d'une pâte à crêpe bien épaisse. Pour des questions de résistance aux chocs, et d'étanchéité, la résine employée est une résine isophthalique. Le gelcoat n'étant pas armé, il est appliqué sur le moule en faible épaisseur, entre 0.3 mm et 0.6 mm. Si la couche est trop épaisse, en vieillissant, elle se fendillera. Il est appliqué avec une gelcoateuse, sorte de pistolet à peinture qui mélange le catalyseur à la résine, et pulvérise l'ensemble. Les fonctions du gelcoat : Protection, pigmentation, opacification du stratifié.

Mat 300

Le **mat** est un agglomérat de fibres de verre coupées qui sont assemblées entre elles, sans orientation particulière, par un liant. Le mat est utilisé lorsque l'on recherche une bonne résistance à la compression. Il permet également de monter rapidement en épaisseur, lorsque cela est nécessaire. Un mat de 600 gr/m² imprégné de 1,4kg de résine par m² aura une épaisseur de 1,5 mm. Il existe deux sortes de mat : Le mat de surface dont les fils sont très fins, et les mats de renforcement dont les fils sont généralement deux fois plus gros. A noter que depuis la mise en évidence de l'osmose certains fabricants emploient des mats poudre en surface, dans ce type de renforts les liants sont des poudres dérivés de polyester bi-phénolique.



Sergé



Le tissu de **roving** est de la fibre de verre agencée en chaîne et trame. La résistance mécanique est bonne en traction et en flexion. Pour éviter les délaminages il faut intercaler un mat entre deux rovings. Par exemple 1 roving

500 - 1 mat 300 - 1 roving 500 (Les chiffres indiquent le poids de verre par mètre carré). En ce qui concerne l'épaisseur, un roving 800 mesurera environ 0.94 mm.

Les nappes : Ce sont différents renforts assemblés entre eux par une couture légère. On trouve des tissus de roving assemblés à des mats, des multi-axiaux associés à des mats légers. L'intérêt est de pouvoir orienter les fibres dans le sens qui semble le mieux convenir. Leur poids au mètre carré peut dépasser 2 kg.

Il existe deux catégories de résine polyester, les résines orthophtaliques, et les résines isophtaliques. Les premières sont les moins chères, et les secondes sont de meilleure qualité donc...

Le durcissement : Le durcissement est rendu possible par l'adjonction de styrène, qui va chercher à se lier avec l'acide du polyester. Il est important de garder cette idée en tête car trop peu de styrène (ventilation excessive) = absence de polymérisation. Le styrène étant déjà mélangé à la résine celle-ci aura naturellement tendance à durcir, le processus sera d'autant plus rapide que la température sera élevée, malgré la présence d'agents inhibiteurs destinés à améliorer la durée de stockage. La proportion de styrène est d'environ 40 %, en fonction de la réactivité de la résine. Si on désire ajouter du styrène, on ne dépasse pas 15 %, car un excès de styrène contrarie la polymérisation.

Pour contrôler le durcissement nous allons utiliser :



Une seringue sera très pratique pour doser l'accélérateur.

De l'accélérateur dénommé octoate de cobalt, c'est le rouge. Le dosage de l'accélérateur, sera fonction de la température, et ce dans une fourchette de 0.1 % à 0.4 %, une plus importante quantité aura tendance à ralentir la réaction. Vers 70° la réaction se produit sans accélérateur. Généralement à 20° on mettra 0.2 %. Lorsque l'on introduit l'accélérateur à la résine, il faut le mélanger soigneusement jusqu'à ce que la résine se pigmente très légèrement en rose, et que toutes les traces rouges sombres aient disparues. Les résines sont généralement proposées pré-accélérées.

Du catalyseur : que l'on nomme souvent par le nom de la marque qui le distribue, mais dont le nom est peroxyde de méthyl-éthyl-cétone, à raison de 1 à 3 %. La durée de vie en pot sera généralement de 20 mn à une demi-heure, si on catalyse à 2 %, une résine accélérée à 0.2 %. Il faut se méfier de ce produit car trop longtemps en contact avec la peau, il provoque des brûlures.

Nous allons contrôler la température : En premier lieu la température du local qui ne sera pas inférieure à 15°, ni supérieure à 30°. Une température trop basse est préjudiciable à la polymérisation, et s'il fait trop chaud une résine standard réagit trop vite, et on ne dispose plus du temps nécessaire à l'imprégnation et au débullage.

Nous allons contrôler les quantités de résine mises en œuvre : Un homme seul et entraîné au moulage au contact, pourra préparer un kilo de résine, s'il applique un mat 600 par exemple. Pour éviter les pics exothermiques on n'appliquera pas de trop fortes épaisseurs, surtout sur les petites pièces ou les réparations. Il existe des résines ayant une durée de vie en pot allongée permettant la stratification de fortes épaisseurs, mais les conditions de polymérisation de ses résines sont plus strictes et on risque de ne pas obtenir les caractéristiques mécaniques désirées.

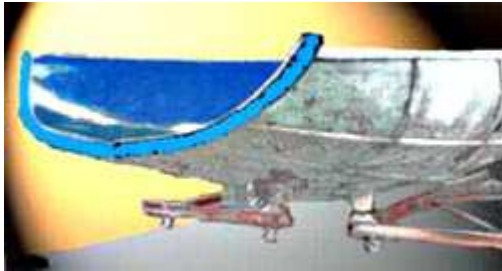
Nous allons vérifier : Le taux d'humidité, il sera toujours inférieur à 65 % une trop forte humidité diminue les performances mécaniques et favorise l'osmose. En Bretagne les plus forts taux d'humidité relative sont enregistrés l'été par temps orageux. Les tissus seront stockés dans un endroit ayant les mêmes conditions de température et d'hygrométrie, que l'atelier de stratification, pour éviter tous phénomènes de

condensation.

Les méthodes de construction

La façon de construire sera déterminée par les matériaux mis en œuvre. Dans la majorité des cas, les coques de petite taille seront construites sur moule et en polyester. Les navires de grandes dimensions seront eux construits coque à l'endroit pour des questions évidentes de manutention et en acier. La construction métallique artisanale ou amateur, construit généralement coque retournée.

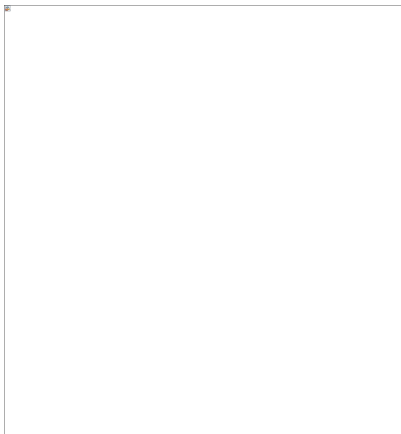
La construction sur moule est la méthode la plus répandue pour construire des bateaux en série et en polyester. Après avoir appliqué un gelcoat, on pose un tissu de verre que l'on imprègne de résine. Ce procédé s'appelle le moulage au contact.



Le procédé est coûteux en main d'œuvre et le résultat dépend pour beaucoup du sérieux des stratifieurs. Pour améliorer la méthode les fabricants font des essais d'injection sous vide. Le terme utilisé est infusion. Cette méthode est employée dans l'aéronautique avec des résines époxy. Avec du polyester la mise au point du procédé est longue et coûteuse. Les meilleurs résultats sont obtenus avec des préimprégnés moulés sous vide, mais ce sont des époxy qu'il faut cuire. On trouve maintenant des préimprégnés en vinylester.

La construction acier permet de fabriquer des coques ayant un faible coût en matière première.

Pour améliorer leurs performances en terme de délais de fabrication, les chantiers se sont dotés de puissants ordinateurs et développent la préfabrication. Le bateau est construit en tronçons et dans certain cas en anneaux. Parfois ces morceaux de coque sont acheminés par la mer pour ensuite être assemblés.



Traditionnellement les bateaux en bois sont construits coque à l'endroit. Les premières pièces construites sont les éléments de la ligne de quille.

La ligne de quille est ensuite dressée verticalement. Les couples sont positionnés aux emplacements prévus sur la quille et immobilisés grâce à des contrevents pris dans la charpente du hangar.

Les formes ayant évolué, les techniques de construction ont suivi le mouvement et certain chantier construisent coque retournée.

 [Les marchands de bois dans l'annuaire](#)

 [Equipement de l'atelier bois.](#)

LES BASES DE LA CONCEPTION ET DE LA RÉALISATION D'UN MOULE POUR MOULAGE AU CONTACT

La majorité des pièces construites en composite, sont construites sur moule. Le moule sera un moule mâle lorsque l'on cherche une belle finition intérieure, c'est le cas des baignoires par exemple ou femelle lorsque la finition sera extérieure c'est le cas des coques de bateau.

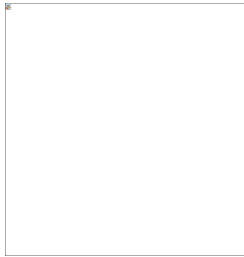
En fonction des contraintes techniques il sera en une ou plusieurs parties. Enfin il pourra être en polyester stratifié, époxy, bois et même en plâtre.



La dépouille : Si je désire fabriquer une caisse pour batterie dans un moule il est impératif qu'il y ait



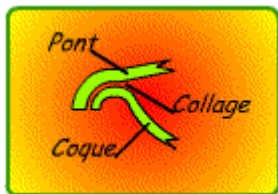
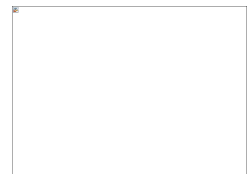
au minimum 1° de dépouille. Cela veut dire que je ne fabriquerai pas un parallélépipède, mais un tronc de prisme. Si ma pièce n'est pas démoulable il faudra que mon moule soit démontable. L'exemple le plus classique en construction navale est une coque frégatée, qui nécessite un moule en deux parties dans le sens longitudinal.



Dépouille pour mouler une partie de profil de mât, Finition intérieure, moule mâle, démoulage de droite à gauche, finition extérieure, moule femelle démoulage de gauche à droite.

Le plan de joint : Généralement un bateau est constitué d'une coque et d'un pont. Il faudra pouvoir assembler ces deux parties de façon fiable (solide et étanche) mais également esthétique. Sur certain petit bateau ou embarcation on a même pris l'habitude que le plan de joint soit invisible (catamarans de sport, kayak, planche à voile).

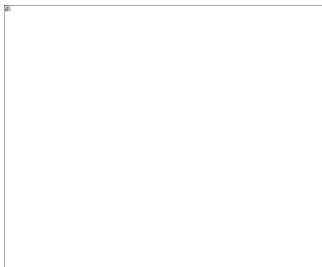
Collage le plus simple. Généralement le plan de joint est caché par le rail de fargues boulonné à travers les lèvres de collage. Avec ce type de collage, il faut prévoir un système de centrage des pièces.



Ce type de collage a un gros avantage, il est auto centreur. Il est facile à cacher, avec un liston de bois ou une bande de caoutchouc. Employé sur un dériveur il facilite le portage.

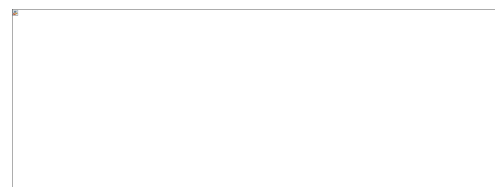
Le choix du type d'assemblage dépendra des pièces à assembler : Coque pont, coque contre moulage, partie de dérive ou safran, mais également de la taille de la pièce. Sur les pièces de petite taille ou faiblement échantillonnées, on cherchera à avoir des plages permettant d'ébarber au gel avec une protection métallique par exemple. On notera que ce type de pièce est toujours assemblés avant démoulage. Il faudra en tenir compte dans la conception du plan de joint en prévoyant un système de centrage par exemple, et des moyens de pression. Il n'est pas rare que la lèvre de collage soit fabriquée à partir d'une pièce rapportée sur le moule.

Bien déterminer le type de fermeture du moule a son importance car il va en grande partie influencer la façon dont on va construire la pièce mère. Par exemple pour faire un moule se fermant suivant les schémas haut droite et gauche ci-dessous, nous partirons d'un modèle complet (coque et pont) sur lequel des plages seront montées. Pour construire un moule ayant un système de fermeture disons du type dériveur (haut gauche), on pourra construire le pont, le mouler, tirer une pièce et dessus construire la coque qui sera à son tour moulé en tenant compte des épaisseurs des peaux à coller. Bien sur en étant parfaitement équipé il sera possible de construire les deux parties séparément. Mais il faudra travailler comme les modeleurs et disposer de leurs équipements et de leur savoir-faire. Enfin les fermetures du type carton à chaussure sont à proscrire, car il n'y a aucune pression sur la colle, et de plus elle est chassée à la fermeture.



Dans cet exemple la lèvre de collage est construite sur une pièce rapportée au moule. On peut imaginer le même cas de figure sur un moule de coque en deux parties, dans ce cas la lèvre de collage fera partie du moule et n'empêchera pas le démoulage.

Illustration du principe de fabrication de lèvre de collage sur une pièce complètement close. Pour réaliser correctement ce type de collage il y a plusieurs impératif à respecter:

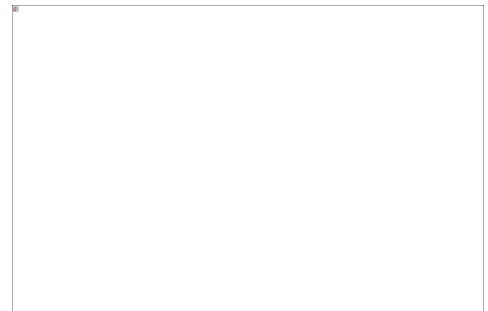


- Si le collage se fait sur le pont, il faut bien évaluer l'épaisseur de la peau(tissus et gelcoat).
- Il est souhaitable que la lèvre soit moins polymérisée que la coque(Ces deux précautions pour éviter que la coque ne se démoule pendant le collage).
- Qu'il n'y ait aucun démoulant sur la lèvre ce qui implique l'utilisation de démoulant sans transfère ou un habillage du moule de la lèvre(les cires sont à proscrire).

La structure : Pour construire notre premier moule nous allons construire une petite pièce d'environ 5 mètres de longueur en polyester. Pour éviter tout marquage nous n'emploierons que des mats, en commençant par un mat de surface de 300gr que nous laisseront polymériser ensuite un mat 300, lorsque ce mat 300 sera en gel il sera possible de commencer à appliquer un mat 450 ou 600. Pour démarrer on n'applique jamais plus de tissus qu'il n'y a de tissus polymérisés. Notre peau sera monolithique et sera terminée lorsque quelle aura une épaisseur de 10 Mm.

Certains moules sont construits en sandwich balsa. J'ai construit des moules raidis avec du nid d'abeille polypropylène, ils ne se sont jamais déformés, malgré des variations de température pas toujours bien contrôlées (L'essai à été effectué sur une petite pièce).

[Les fournisseur de nid d'abeille dans l'annuaire](#)



LES DIFFERENTES MISES EN OEUVRES DU BOIS

Ce matériau de construction a progressivement été abandonné pour la construction des grands navires marchands. Construire une coque d'environ 100 m. en bois aboutissait à une structure très lourde. Pour ce faire une idée il faut savoir que le bordé des grands navires en bois avait à la flottaison une épaisseur de plus de 50 cm. L'acier s'est progressivement imposé car il permettait de construire des coques plus légères disposant d'un plus grand volume intérieur. Par contre la construction bois à été largement utilisé en plaisance et pêche jusque dans le milieu des années 60 époque à laquelle les composites ont été préférés par les plaisanciers pour des questions de prix et d'entretien. La pêche a longtemps préféré le bois ou l'acier en fonction de la taille du bateau.



La construction classique : Le bordé "à franc-bord", ce sont des planches fixées(on dit chevillées) sur un grand nombre de couples. L'étanchéité est réalisée en montant les virures(les planches) très ajustées les unes par rapport aux autres, voir à force, en gonflant le bois fini l'étanchéité (c'est le principe du tonneau).

Certaines constructions sont calfatées. Dans ce cas le bordé n'est ajusté que sur l'angle intérieur, la jonction des [virures](#), vue en coupe, présente un espace en forme de v dont l'ouverture égale au maximum 0.6 mm par centimètre d'épaisseur de bordé, dans lequel on introduit du coton à [calfater](#), au moyen d'un fer à calfat.(Les cotes de l'ouverture du v sont très théoriques, sachant qu'un fer à calfat se terminait par un diamètre d'environ 1 mm, la réalisation d'un bordé d'une épaisseur de 16 mm exigeait des charpentiers très qualifiés). Pour terminer on appliquait du mastic à calfater.



Couture bordé à franc-bord

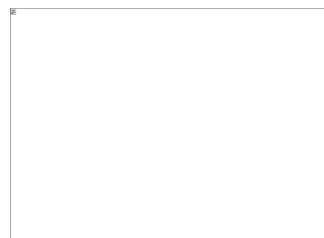
La construction à clin : Les embarcations légères et les [annexes](#) étaient parfois bordées à "clin".

Dans ce type de construction, chaque virure recouvre la précédente. Avec cette méthode de construction, le bordé à une plus grande rigidité, ce qui permet d'utiliser des épaisseurs plus faibles que pour le bordé à franc-bord, donc plus léger. Si on construit en gardant la même épaisseur de bordé la coque est plus solide, mais plus lourde.

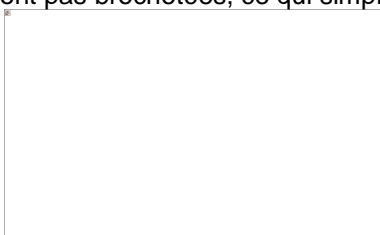


Canot à clin

Bordé à clin



Le bordé "norvégien" ou "le bois latté" : il est constitué de lattes bouvetées ou non, empilées les unes sur les autres. Les virures ne sont pas brochetées, ce qui simplifie le travail.



Bordé latté

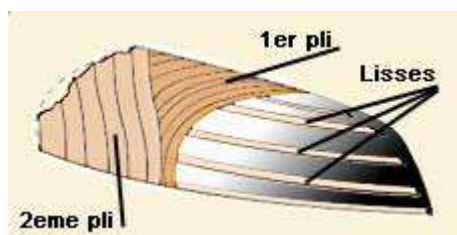
Le bordé sur lisses : ce type de bordé a parfois été employé pour construire des coques en V. Chaque couture est doublée d'une lisse enduite de glu marine avant d'être chevillée. Ce type de bordé est mentionné pour mémoire, toutes fois il permet de construire avec des bois de moindre qualité en remplaçant la glu par des mastics polyuréthannes souples.



Bordé sur lisses

Le double bordé : Cette façon de construire, onéreuse car on faisait deux fois le travail, était généralement choisie, pour éviter le calfatage périodique et pour obtenir facilement une finition impeccable.

Le bois moulé a eu ses heures de gloire, dans la plaisance, c'était la seule méthode permettant de construire à l'unité un bateau léger, voir ultra léger, solide et étanche par tous les temps. Il ne nécessite pas de "gonflage" si le bateau hiverne à sec. S'il hiverne à flot le bordé résiste bien aux tarets.



Bordé bois moulé

Construire en bois moulé revient à fabriquer un panneau de contre-plaqué à la forme d'un bateau. Chaque pli est constitué de lattes brochetées, posées sur des lisses. Les lattes sont découpées dans du

bois tranché, dans des panneaux de contre-plaqué ou sont sciées dans des plateaux. Construire avec des lattes de contre-plaqué à souvent était présenté comme la solution la plus facile. C'est faux ! C'est plus économique, mais il est difficile avec cette méthode de rectifier correctement les lattes (il faut raboter du bois debout) par ailleurs plus de la moitié du bois ne participe pas à la solidité du bordé.

Le contre-plaqué : Cette méthode de construction est très récente (moins de 40 ans), beaucoup de bateaux construits suivant ce procédé n'ont pas survécu au temps. De nos jours notamment en utilisant des époxy, cette méthode est sûrement une bonne alternative, pour les constructions à l'unité, mais elle implique que la coque soit à bouchains et développable.

LA REPARATION D'UNE STRUCTURE POLYESTER

Nous allons exposer la réparation d'une fissure, puis d'un trou dans une structure monolithique, et dans une structure sandwich.

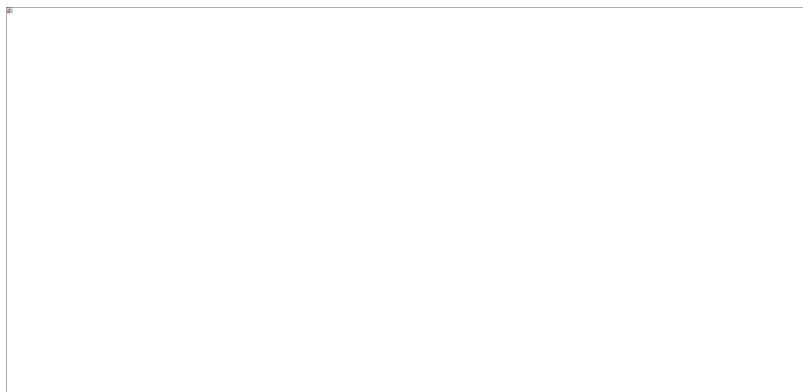
LES DIFFERENTES OPERATIONS



Dans une structure monolithique:

première étape, préparation de la surface :

Avec une disqueuse équipée d'un plateau de ponçage, et d'un disque de gros grains (entre 16 et 40) nous allons poncer autour de la fissure sur une largeur minimum de 100 mm. S'il s'agit d'une petite réparation, on pourra utiliser une perceuse munie d'un disque métallique recouvert de particules de tungstène, vendu en grande surface. Si on appuie trop fort ou si on reste trop longtemps au même endroit, les disques auront tendance à s'encrasser, dans ce cas il ne faut pas insister, on remplace le disque par un neuf, et on met le disque sale à tremper dans de l'acétone. Les dépôts de poussière agglomérés s'en iront très facilement et les disques seront de nouveau utilisables.



Pour une petite fissure moins de 5 cm de long dans une peau épaisse de 3 à 4 mm, une largeur de collage de 100 mm peu paraître excessif, mais cela permet d'avoir un bon accrochage des tissus.

Une fissure sera réparée comme ci-dessus, si elle n'est pas restée trop longtemps immergée. Si elle est restée longtemps immergée, par négligence, il faudra éliminer toutes les parties du polyester dégradé par l'eau de mer. S'il y a des traces d'humidité dans la poussière, il faudra rincer abondamment à l'eau douce et sécher soigneusement.

A titre d'exemple une fissure de 250 mm dans du polyester de mauvaise qualité peu nécessitera une réparation sur 2 m² de coque, après 2 ans d'immersion. (voir osmose qd la page sera disponible)

Deuxième étape : On enlève toutes traces de poussière, et on réactive la surface de collage avec du styrène. Si le stratifié est ancien on se débrouillera pour faire un pansement, c'est à dire que l'on appliquera sur la surface un chiffon imbibé de styrène, pendant environ 12 heures. Ensuite il faut habiller le pourtour de la réparation, avec de l'adhésif, et des journaux ou du film plastique.

Troisième étape : On pose un mat d'accrochage, généralement un mat de 300 g. Il sera soigneusement débullé, et tous les picots auront été rabattus. Nous laisserons polymériser ce mat, avant de démarrer la réparation en elle-même.

Quatrième étape : Après un léger ponçage du mat d'accrochage on va commencer la réparation, en alternant mat et rowing si telle est la structure de la coque. En fonction de l'épaisseur de la réparation, et de la température on fera attention à ne pas mettre en œuvre une trop forte épaisseur de stratifié en une seule fois. Théoriquement, on ne dépasse pas l'épaisseur de tissus déjà en gel. On montera en épaisseur jusqu'à ce que le niveau le plus bas de la réparation soit au niveau du stratifié en bon état.



Cinquième étape : Après avoir ébarbé les tissus au gel avec un cutter, nous débutons la finition.

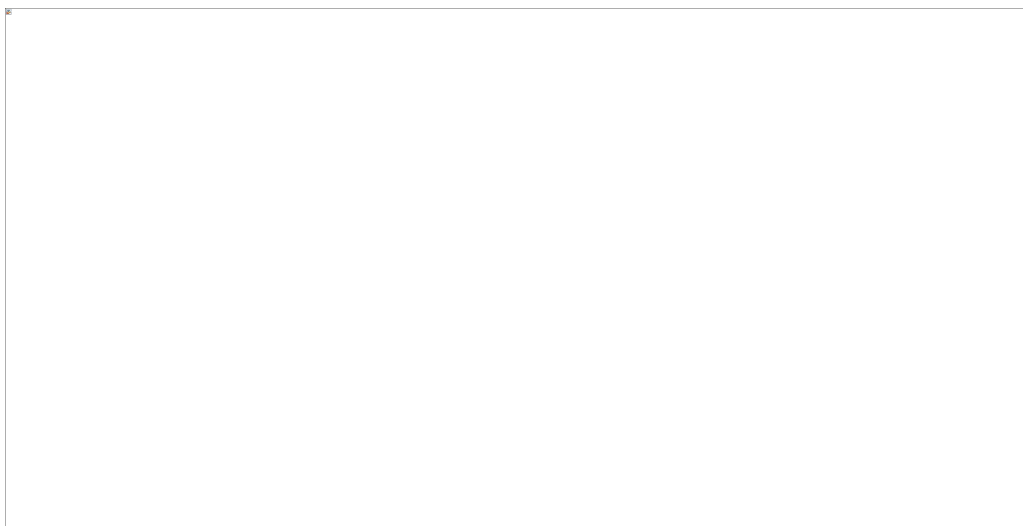
LA RÉPARATION D'UN TROU DANS UNE STRUCTURE POLYESTER (suite)

LES DIFFERENTES OPERATIONS



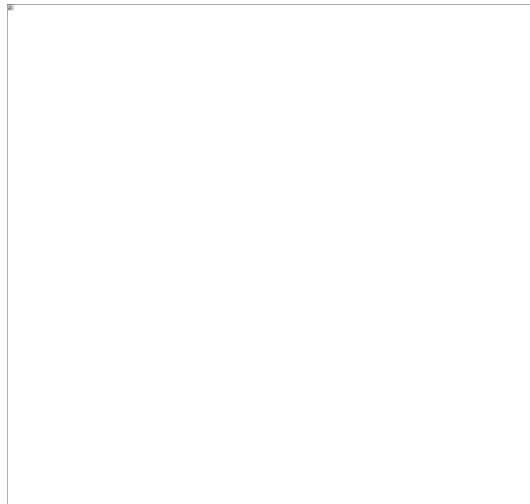
Dans une structure monolithique réparer un trou :

Avec le même matériel de ponçage et éventuellement avec un disque à tronçonner nous allons supprimer toutes les parties endommagées et donner une forme géométrique régulière à la partie endommagée.



Deuxième étape : Nous allons distinguer différents cas, le plus simple sera celui d'une réparation sur une surface plane ou développable en ayant accès aux deux cotés. Nous allons découper la forme du trou dans un morceau de contre-plaqué fin ou dans du carton. Cette forme sera habillée soit avec de l'adhésif d'emballage, soit avec un film de polyéthylène pour permettre son démoulage. Pas de démoulant pour éviter les transfères.

Notre forme sera positionnée dans le trou et maintenue en place avec des petits plots de mastic polyester. Lorsque celui ci est suffisamment polymérisé (dur) on va commencer la pose du mat d'accrochage, en respectant les conseils de préparation de surface exposés page 1. Si les épaisseurs sont importantes, environs 10 mm, et que la pièce à réparer le permet, il sera intéressant de travailler alternativement d'un coté puis de l'autre.



Pour enlever les petits plots de mastic nous nous servirons d'un ciseau à bois, et en ponçant nous ferons disparaître les traces de mastic. Il arrive parfois que la surface en contact avec l'adhésif soit poisseuse, cela est dû aux solvants employés dans les colles des rubans qui bloquent la polymérisation du polyester en surface. On fait dans ce cas un rapide ponçage avec du grain 40 avant de commencer la stratification.

Si la forme à réparer n'est pas une surface développable, il va falloir la retrouver en la sculptant dans un matériau tendre, nous emploierons de la mousse polyuréthane. La densité minimum de la mousse sera de 40 gr/l, les densités inférieures sont trop tendres. La partie rapportée sera soit tirée d'un bloque de mousse et collée en place, soit on réalisera un moussage in situ. (voir les conseils concernant le moussage, lorsqu'ils seront publiés)

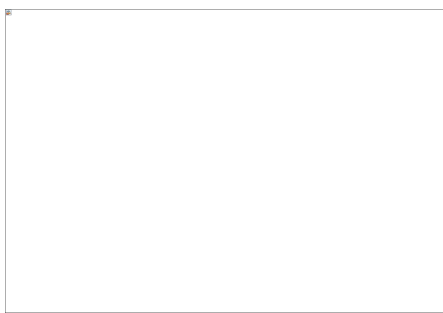
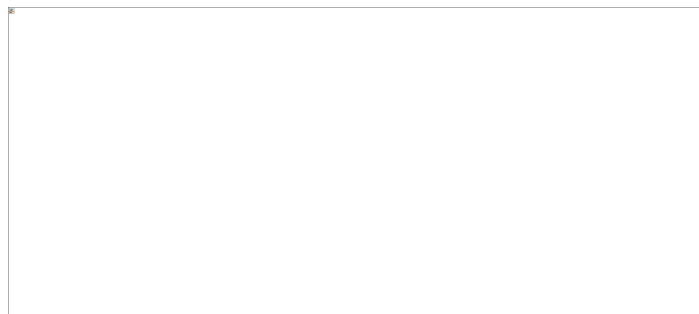
1 3

LA RÉPARATION D'UNE STRUCTURE POLYESTER et D'UN CAISSON (suite III)

LES DIFFÉRENTES OPÉRATIONS

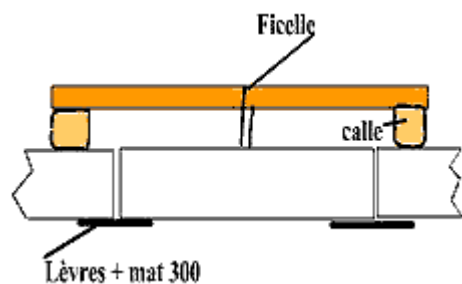


Les bords de la partie endommagée seront préparés comme indiqué précédemment, et soigneusement habillés. En cas de [moussage in situ](#), il est impératif que les parties du gelcoat en dehors de la réparation soit isolée de la mousse. (La mousse polyuréthane sur du gelcoat blanc, même soigneusement nettoyée, fait des taches marrons à la lumière, du plus mauvais effet.) Pour faire une réparation à fond de coque, il ne sera pas difficile de guider l'expansion de la mousse sur toute la surface du trou, mais dans les parties verticales il faudra faire preuve d'astuce. Par exemple en confectionnant une sorte de sac destiné à recevoir la coulée. Évidemment l'autre côté de la zone endommagée sera bouchée avec un film lâche. Il est souvent préférable de procéder en plusieurs passes. Car une trop grande quantité de mousse risque de tout polluer. Dès que la mousse est refroidie, on peut commencer à sculpter.

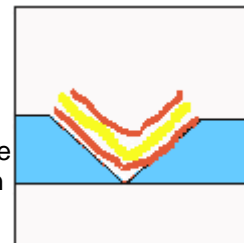


Réparation dans un caisson : Bien souvent la partie intérieure de la réparation est inaccessible car elle se trouve dans un contre-moulage ou bien il s'agit d'un catamaran de sport fermé.

Dans ce cas on fait une ouverture rectangulaire que l'on découpe le plus soigneusement possible par exemple à la scie sauteuse. Sur la découpe ou sur l'orifice on fabriquera des lèvres qui permettront de recoller la découpe à sa place. Les lèvres sur la découpe sont plus faciles à faire. Elles dépasseront de 30 à 60 mm de la découpe et feront une épaisseur de 2 à 3 mm.



Dans cet exemple les lèvres sont fabriquées sur la découpe



La découpe rectangulaire permettra à la pièce de passer avec ses lèvres. Pour le collage on appliquera un mat 300 généreusement

imprégné de résine thixotropée (sur la lèvre). Au préalable on aura poncé et réactivé au styrène la zone de collage. Pour presser le collage on aura prévu des petites languettes de stratifié sur lesquels on fixera des tirants. Pour terminer on fera une reprise extérieure en se référant à la réparation d'une fissure, ensuite on finira au gelcoat paraffiné, ou à la bombe de peinture.

Réparation d'un sandwich : Nous allons nous intéresser à la réparation d'un sandwich balsa. Ce type de sandwich permet de réaliser des structures légères, mais nécessite en cas de choc une inspection immédiate, et s'il y a fissure ou trou, une réparation immédiate, ce qui n'est généralement pas fait. Si le choc est réparé immédiatement, il n'y a aucun problème. Après avoir enlevé le stratifié endommagé, on fait sauter le balsa abîmé et on colle un nouveau morceau sur de la résine thixotropée. Si la réparation n'a pas été faite à temps, il faudra supprimer toutes les parties du balsa gorgées d'eau, et la principale difficulté sera de trouver des solutions pour mettre sous pression une surface de balsa importante. La solution idéale est de posséder une pompe à vide. Dans le cas contraire à fond de coque avec des étais et du C.P mince ou des sacs de sable on arrive à faire un collage propre. C'est moins évident sur une partie en biais ou il faudra s'inventer des points d'appuis.

Les différentes étapes :

1. Suppression du polyester endommagé.
2. Suppression du balsa humide.
3. Préparation par ponçage de l'emplacement du collage.
4. Collage du balsa sur de la résine fortement thixotropée, et accélérée à raison de 0.3%. La quantité de colle sera de 300 à 500 grammes par mètre carré, appliquées au peigne. (Chaque fois que c'est possible on enlève le petit tissu qui assemble le balsa)
5. Mise sous pression du balsa.
6. Pré-imprégnation du balsa (même recette que pour le bois)
7. Stratification.
8. Finition.

1 3

Moussage polyuréthane

En construction navale, on utilisera le moussage P.U, pour rendre la pièce insubmersible, parfois pour faire une isolation phonique ou thermique, ou encore pour faire une réparation. On peut utiliser la mousse polyuréthane pour faire une réparation sur une carrosserie endommagée, modifier un carénage moto ou faire du tunning. Normalement on utilise une machine à mousser, mais on peut réaliser des moussages manuels et obtenir de très bons résultats.

CHOIX DE LA MOUSSE:

Il ne faudra pas se tromper dans le choix de la mousse, ce sera généralement une mousse polyuréthane à cellules fermées, elle aura une densité en expansion libre de 35 à 40 gr par litre. Les densités plus faibles sont destinées à l'isolation, et sont difficiles à sculpter. Si le poids n'a pas d'importance, on peut choisir une 80 gr/L, qui à l'avantage de se travailler comme un bois tendre à la

râpe à bois. On préférera les mousses générant une peau du surface.

Pour un moussage manuel la caractéristique la plus importante sera le temps de mélange, il faut disposer de **30 sec** avant le temps de crémage, à 20°. Si le travail est bien préparé un homme seul peut mousser à la main entre 250 et 300 l, dans un moule fermé. Pour un volume plus grand, je n'ai pas essayé, mais pour mélanger correctement, je ne crois pas que ce soit possible en une seule opération.

PRÉPARATION DU TRAVAIL

C'est cette étape qui fera de votre entreprise un succès ou un échec aussi bien dans des petites séries que dans une utilisation amateur ou en expansion libre.

1. Le moussage se fera dans un local aéré, mais sans courant d'air et dans lequel la température sera stable (pour une petite série les variations de température font varier le volume de mousse à injecter).
2. Pour un moussage manuel, on préparera des récipients type bidons translucides permettant de mesurer en volume (on fait une marque au marqueur sur deux bidons) un pour le polyol et un pour l'isocyanate (les deux produits à mélanger, le marron et le translucide). On ne mélangera jamais les produits dans les emballages (il faut doser en fonction du volume à mousser).
3. On prépare des seaux de 20 litres, si on a plusieurs moussages à faire le seau est plus facile à nettoyer quand la mousse a durci c'est pourquoi il faut plusieurs seaux. En moussage sur moule fermé prévoir un entonnoir et un tourne vis ou une tige métallique pour le nettoyer
4. On prépare un récipient d'acétone, pour nettoyer le mélangeur, et les gants (prévoir du rechange), et les outils. Il est préférable d'utiliser une vieille perceuse pour mélanger car la mousse polyuréthane c'est amusant, mais ça pourri tout.
5. Seules les toutes petites quantités de mousse seront mélangées à main. En générale le mélange sera fait avec un mélangeur monté sur une perceuse électrique. Le mélangeur sera une simple hélice. (J'utilise un bout d'inox fixé sur une tige filetée avec deux écrous.) Certains mélangeurs à peinture du commerce sont trop compliqués du coup impossible à nettoyer rapidement.
6. Pour un moussage en expansion libre du type [réparation](#) il faut impérativement protéger toutes les surfaces risquant d'être en contact accidentellement avec la mousse polyuréthane. Si un gel-coat blanc entre en contact avec de la mousse P.U. dans un premier temps avec de l'acétone vous aurez l'impression d'avoir nettoyé, puis à la lumière apparaîtront des tâches marrons du plus mauvais effet. Dans ce type de moussage on prépare des petites quantités de mousse. Il est préférable de renouveler l'opération plusieurs fois.
7. Moussage par exemple d'un caisson de flottabilité en expansion libre ayant des parois planes (faible inertie). Si vous mousser directement, bien sûr vous protéger tout, mais la mousse en s'expansant chauffe, et lorsqu'elle refroidie, elle se rétracte. Et voilà votre caisson déformé avec un beau creux. La solution, mousser par petites doses, ou habiller les parois pour éviter que la mousse n'adhère.
8. Pour mousser un volume fermé, il faut disposer d'un conformateur (cela peut être un moule très solide pour par exemple faire une pièce polyester destinée à être moussée in situ.). Pour une pièce de 2MX1.40X0.10, en plus d'une structure classique de moule en cp de 20MmX200 Mm, 3 fois dans la longueur et tous les 600Mm dans la largeur, pour mousser j'ajoute 3 [bastings](#) recto verso boulonnés sur des tiges filetées. Pour mousser dans un moule fermé, il est souvent utile de donner de l'inclinaison au moule afin que la mousse coule rapidement à l'opposé de l'évent.

LE MOUSSAGE:

Trente secondes c'est court, vous avez versé les produits dans le seau, votre perceuse est à portée de main, vous commencez à mélanger. Pour être à l'aise le mieux c'est de s'entraîner à compter sur un rythme qui vous convient et qui correspond au temps limite des trente secondes. A partir de ce moment vous ne vous préoccupez plus de la qualité du mélange, au bout de 15 à 20 seconde la mousse devient jaune mayonnaise. à partir de ce moment une seule chose compte, respecter les 30 secondes et verser. Si vous tardez trop, l'expansion se fera dans le seau et vous

ne pourrez plus verser la mousse, si vous versez trop tôt les produits seront mal mélangés et la mousse sera de mauvaise qualité. Voilà c'est tout simple et ça marche.

[Les fournisseurs de résines et colles dans l'annuaire.](#)

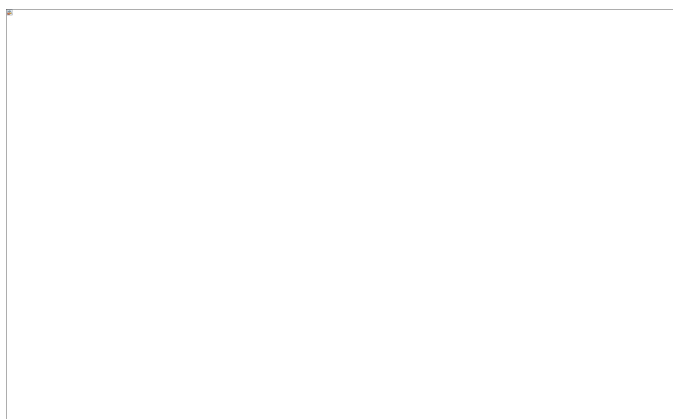
LA POSE D'UNE CLOISON EN CONTRE-PLAQUE

Cette opération sera effectuée sur une coque non pontée, généralement construite en polyester sur moule ou en sandwich sur mannequin. Nous allons vérifier que la cloison correspond à la forme du bateau avant de la découper. Cette technique est adaptée à la construction artisanale ou amateur.

LES DIFFÉRENTES OPÉRATIONS

La première étape consiste à repérer l'emplacement de la cloison :

La ligne de référence sera le livet. On tirera un axe longitudinal, passant par l'axe de symétrie du bateau.



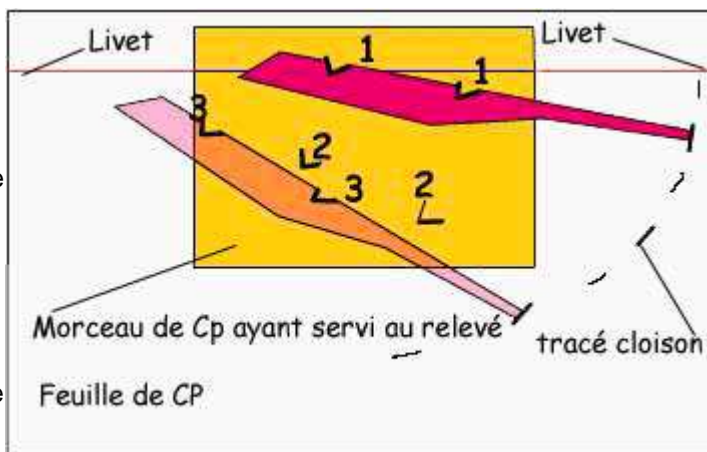
Sur le dessin ci-contre on a vérifié que le chevron fixé à l'endroit de la cloison est de niveau et perpendiculaire à l'axe de symétrie, représenté par la ligne interrompue dans le plan longitudinal. Sur le chevron, avec des presses on a fixé un morceau de contre-plaqué, et on vérifie qu'il est vertical. Les pointillés, sur la coque, représentent l'emplacement théorique de la cloison.

Deuxième étape : On applique un onglet sur le morceau de contre-plaqué, dans lequel on a pratiqué deux trous de 10 mm environ. On

peut également pratiquer des encoches sur les bords de l'onglet. Nous amenons l'onglet à toucher la coque, et nous repérons les deux trous ou les deux encoches sur le morceau de contre-plaqué en nommant cette position 1.

Nous effectuerons cette opération environ tous les 10 à 15 cm le long de la coque. Ce qui va donner entre 15 et 20 relevés en fonction de la taille du bateau. Cette opération n'a pas besoin d'être très précise, la cloison, sur une coque composite n'étant pas en contact avec la structure. Par contre, il est impératif que la feuille de relevé soit parfaitement dans le plan vertical, car s'il y a le moindre gauchissement, la cloison gagnera ou perdra rapidement plusieurs cm.

Troisième étape : Le relevé sur la coque étant terminé, on ne touche pas au chevron, on desserre les presses qui immobilisent le morceau de C.P et on applique celui-ci sur la feuille de C.P dans laquelle on va découper la cloison. Au préalable on aura repéré le livet, et l'axe de symétrie. En remettant l'onglet dans les repères numérotés ou pourra tracer les cotes relevées sur la coque. On finira le tracé de découpage avec une latte de bois souple sans oublier de déduire l'espace qu'il y aura entre la coque et la cloison.



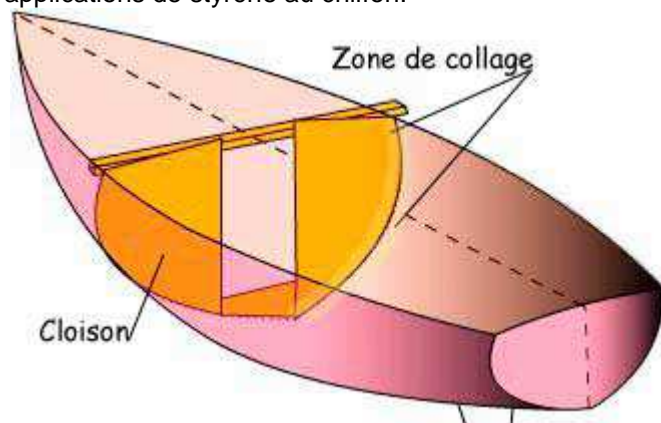
[Les distributeurs de résines et colles](#)

[Equipement de l'atelier polyester](#)

Quatrième étape : Préparation des zones de collage. Sur les parties C.P la zone de collage sera soigneusement nettoyée au trichloréthylène, après séchage, l'endroit du collage sera délimité proprement avec du ruban adhésif et les parties non collées seront protégées par un film de polyéthylène, préférable au papier qui n'est pas étanche à la résine.

Sur la partie polyester on passera rapidement une disqueuse équipée d'un disque grain 40. Ne pas appuyer sur les faibles échantillonnages. La partie poncée sera dépoussiérée, et réactivée par plusieurs

applications de styrène au chiffon.



Cinquième étape :

Les cloisons ou portions de cloison sont positionnées à leurs emplacements et scellées par points avec des petits plots de mastic polyester. La verticalité sera vérifiée avec un niveau, on vérifie également qu'elle est bien perpendiculaire à l'axe du bateau. (La coque du bateau doit aussi être de niveau). Si la cloison a tendance à gauchir, elle sera calée par exemple avec des petits bouts de carton.

Ensuite on fera sur la zone de collage de la cloison une pré-imprégnation avec de la résine diluée à 50% d'acétone et fortement accélérée,

0.4 % d'octoate de cobalt. Lorsque la pré-imprégnation aura durci, mais sera encore très légèrement poisseuse on posera le premier mat d'accrochage, qui sera soigneusement débullé. Après durcissement on applique les couches de tissus prévus au plan.

On n'oubliera pas d'ébarber les tissus sur le CP, avec un cutter chaque fois que la résine sera en gel.

En respectant cette procédure de collage sur du contre-plaqué, le collage est supérieur ou égal à la résistance du bois. En cas de forte sollicitation une partie des fibres du bois restent sur le tissu.

Construire un couple

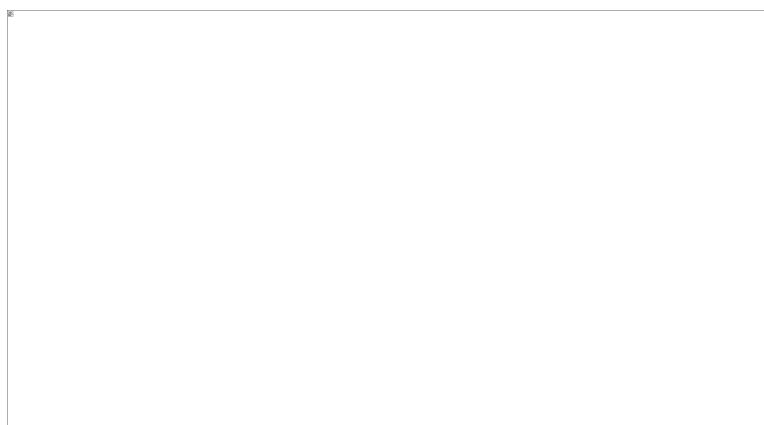
En construction navale, la construction d'un couple sera différente en fonction des méthodes de construction choisies et des matériaux utilisés. Les formes du bateau vont également influencer la façon de construire.



Construire les gabarits des couples de forme:



En construction classique, on utilise des gabarits de couple qui vont nous permettre de définir la forme des couples, en utilisant par exemple des lisses provisoires. Les gabarits de couple sont construits d'après un dessin en grandeur sur lequel on représente le flottaison, les lignes d'eau, les sections verticales longitudinales, les diagonales, et le livet, pour le tracé. (Voir bases du dessin , Coque en forme)





Cette pièce fait partie du chantier de construction.

Si le couple est destiné à une construction sandwich, il faudra déduire l'épaisseur de la peau extérieure + l'épaisseur de l'âme + l'épaisseur des lisses qui vont soutenir l'âme (dans le cas où la peau intérieure est construite après retournement). Dans le cadre d'une construction bois moulé sur lisse on déduira l'épaisseur du bordé et des lisses. Dans ce type de construction les cloisons sont généralement montées avant la pose du bordé.

Construction d'un couple en bois ployé:

Ployer du bois à la vapeur est relativement facile, il faut disposer d'une grande marmite et d'un tuyau qui conduit la vapeur dans une caisse rendu étanche munie d'un trappe. Pensez à mettre des bouts de ficelle sur les morceaux de bois à scintrer. Les couples seront mis à la forme soit directement dans le bateau, sur les lisses provisoires, soit sur des moules, ou bien scintré sur un point d'appui et contrôlé avec un gabarit (couples légers). Avant de ployer les couples pensez au chevillage, les fibres du bois seront parallèles à la lisse. Le plus facile est de ployer dans le bateau. Les couples sont équerrés extérieurement et intérieurement pour poser les serres.

-  [Les fournisseurs de résines et colles dans l'annuaire.](#)
-  [Les marchands de bois dans l'annuaire](#)

Les Matériaux Composites

Comme l'indique leur nom ce sont des matériaux composés de divers éléments ! En construction navale on utilise principalement des tissus, de la résine, du bois, et des mousses synthétiques. Les tissus sont à base de fibre de verre, de carbone ou de kevlar. Les résines appartiennent à la famille des polyesters, des époxydes ou des polyuréthanes. Dans les sandwichs le bois servant d'âme sera du balsa, et parfois du contre-plaqué. Enfin les mousses servant d'âme seront des P.V.C ou des polyuréthanes.

Terminologie : La matrice, désigne le matériau qui sert à assembler les différents éléments de l'armature. Ce sont les résines. Les renforts (les tissus), constituent l'armature du matériau. C'est en partie eux qui déterminent les performances mécaniques de la structure.

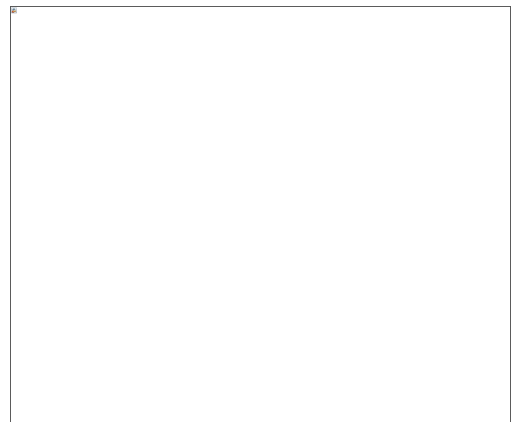
LE STRATIFIÉ POLYESTER



Composition d'un stratifié monolithique : De l'extérieur vers l'intérieur

- Une couche de gelcoat
- En France vient ensuite un mat de surface, de faible grammage généralement de 100 à 300 gr/m². Aux États-Unis ils utilisent des tissus de faible grammage 50gr/m² environ.
- Ensuite on alterne les couches de mat et de roving jusqu'à l'obtention de l'épaisseur désirée.

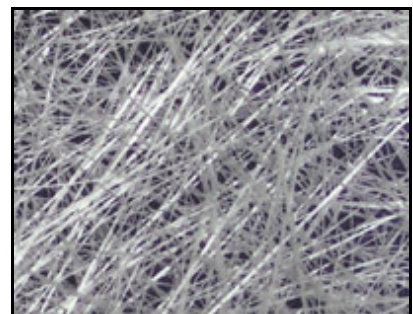
Souvent la dernière couche est un roving qui donne un meilleur aspect et résiste mieux en cas de déformation de la coque du à un enfoncement.



Le **gelcoat** est un mélange de résine, de silice colloïdale, et de pigments. Ce produit à la consistance d'une pâte à crêpe bien épaisse. Pour des questions de résistance aux chocs, et d'étanchéité, la résine employée est une résine isophthalique. Le gelcoat n'étant pas armé, il est appliqué sur le moule en faible épaisseur, entre 0.3 mm et 0.6 mm. Si la couche est trop épaisse, en vieillissant, elle se fendillera. Il est appliqué avec une gelcoateuse, sorte de pistolet à peinture qui mélange le catalyseur à la résine, et pulvérise l'ensemble. Les fonctions du gelcoat : Protection, pigmentation, opacification du stratifié.

Mat 300

Le **mat** est un agglomérat de fibres de verre coupées qui sont assemblées entre elles, sans orientation particulière, par un liant. Le mat est utilisé lorsque l'on recherche une bonne résistance à la compression. Il permet également de monter rapidement en épaisseur, lorsque cela est nécessaire. Un mat de 600 gr/m² imprégné de 1,4kg de résine par m² aura une épaisseur de 1,5 mm. Il



existe deux sortes de mat : Le mat de surface dont les fils sont très fins, et les mats de renforcement dont les fils sont généralement deux fois plus gros. A noter que depuis la mise en évidence de l'osmose certains fabricants emploient des mats poudre en surface, dans ce type de renforts les liants sont des poudres dérivés de polyester bi-phénolique.

Sergé



Le tissu de **roving** est de la fibre de verre agencée en chaîne et trame. La résistance mécanique est bonne en traction et en flexion. Pour éviter les délaminages il faut intercaler un mat entre deux rovings. Par exemple 1 roving 500 - 1 mat 300 - 1 roving 500 (Les chiffres indiquent le poids de verre par mètre carré). En ce qui concerne l'épaisseur, un roving 800 mesurera environ 0.94 mm.

Les **nappes** : Ce sont différents renforts assemblés entre eux par une couture légère. On trouve des tissus de roving assemblés à des mats, des multi-axiaux associés à des mats légers. L'intérêt est de pouvoir orienter les fibres dans le sens qui semble le mieux convenir. Leur poids au mètre carré peut dépasser 2 kg.

RÉGLAGES DOSAGES ET PRÉCAUTIONS

Il existe deux catégories de résine polyester, les résines orthophtaliques, et les résines isophtaliques. Les premières sont les moins chères, et les secondes sont de meilleure qualité donc...

Le durcissement : Le durcissement est rendu possible par l'adjonction de styrène, qui va chercher à se lier avec l'acide du polyester. Il est important de garder cette idée en tête car trop peu de styrène (ventilation excessive) = absence de polymérisation. Le styrène étant déjà mélangé à la résine celle-ci aura naturellement tendance à durcir, le processus sera d'autant plus rapide que la température sera élevée, malgré la présence d'agents inhibiteurs destinés à améliorer la durée de stockage. La proportion de styrène est d'environ 40 %, en fonction de la réactivité de la résine. Si on désire ajouter du styrène, on ne dépasse pas 15 %, car un excès de styrène contrarie la polymérisation.

Pour contrôler le durcissement nous allons utiliser :



Une seringue sera très pratique pour doser l'accélérateur.

De l'accélérateur dénommé octoate de cobalt, c'est le rouge. Le dosage de l'accélérateur, sera fonction de la température, et ce dans une fourchette de 0.1 % à 0.4 %, une plus importante quantité aura tendance à ralentir la réaction. Vers 70° la réaction se produit sans accélérateur. Généralement à 20° on mettra 0.2 %. Lorsque l'on introduit l'accélérateur à la résine, il faut le mélanger soigneusement jusqu'à ce que la résine se pigmente très légèrement en rose, et que toutes les traces rouges sombres

aient disparues. Les résines sont généralement proposées pré-accélérées.

Du catalyseur : que l'on nomme souvent par le nom de la marque qui le distribue, mais dont le nom est peroxyde de méthyl-éthyl-cétone, à raison de 1 à 3 %. La durée de vie en pot sera généralement de 20 mn à une demi-heure, si on catalyse à 2 %, une résine accélérée à 0.2 %. Il faut se méfier de ce produit car trop longtemps en contact avec la peau, il provoque des brûlures.

Nous allons contrôler la température : En premier lieu la température du local qui ne sera pas inférieure à 15°, ni supérieure à 30°. Une température trop basse est préjudiciable à la polymérisation, et s'il fait trop chaud une résine standard réagit trop vite, et on ne dispose plus du temps nécessaire à l'imprégnation et au débullage.

Nous allons contrôler les quantités de résine mises en œuvre : Un homme seul et entraîné au moulage au contact, pourra préparer un kilo de résine, s'il applique un mat 600 par exemple. Pour éviter les pics exothermiques on n'appliquera pas de trop fortes épaisseurs, surtout sur les petites pièces ou les réparations. Il existe des résines ayant une durée de vie en pot allongée permettant la stratification de fortes épaisseurs, mais les conditions de polymérisation de ses résines sont plus strictes et on risque de ne pas obtenir les caractéristiques mécaniques désirées.

Nous allons vérifier : Le taux d'humidité, il sera toujours inférieur à 65 % une trop forte humidité diminue les performances mécaniques et favorise l'osmose. En Bretagne les plus forts taux d'humidité relative sont enregistrés l'été par temps orageux. Les tissus seront stockés dans un endroit ayant les mêmes conditions de température et d'hygrométrie, que l'atelier de stratification, pour éviter tous phénomènes de condensation.

Le moulage au contact

Le moulage au contact est la méthode la plus couramment utilisée pour réaliser une pièce en polyester. Il existe d'autres méthodes, l'injection, la pultrusion, etc. Mais en construction navale c'est le moulage au contact qui a prédominé, car il nécessite peu d'outillage, par contre cette méthode consomme beaucoup de main d'oeuvre.

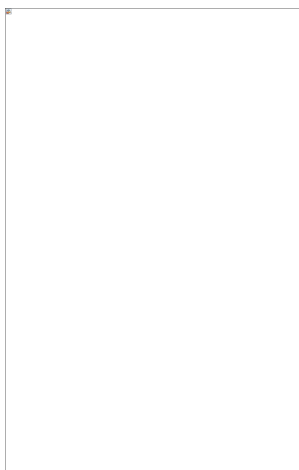
LA PRÉPARATION DU TRAVAIL



La première chose à faire sera de découper les tissus et, de les classer, par exemple en faisant des piles ou les premiers tissus à appliquer seront sur le dessus. Si la pièce est grande on fera des rouleaux de tissus qui seront numérotés et, on aura prévu une fiche sur laquelle tous les tissus à appliquer seront mentionnés. Les mats seront déchirés et les roving découpés au ciseau ou au cutter en fonction des formes et des épaisseurs. Si le travail est effectué sur moule, le moule aura été nettoyé avec un chiffon doux, les plages auront été débarrassées des restes de gel-coat à la soufflette ou avec des coins de bois dur bien affûtés. (Ça c'est ce que disent les manuelles pour être clair ça marche pas vraiment bien, mais les plages ne sont pas abîmées. Ce qui marche le mieux c'est un ciseau à bois bien affûté, tenu par une main faisant preuve d'adresse.) On cirera le moule, puis on le lustrera. Après application du gel-coat et gélification, la stratification pourra commencer, mais avant :



- Prévoir des récipients propres, pour la résine, pour les résines épaissies, pour l'acétone.
- Pesée de la résine en fonction du poids du tissu, de la surface que l'on va travailler (Les formes complexes sont plus longues à imprégner et à débuller).
- Un coup d'oeil pour voir si on a tout le matériel nécessaire : pinceau, rouleau enducteur, rouleau débulleur approprié aux tissus, propre, sec et fonctionnel. On vérifie que la paire de gant n'est pas troué, que le masque fonctionne correctement et, que la paire de ciseaux est à portée de main au cas où il serait nécessaire de rectifier une découpe de tissu.



Petit rouleau débulleur métallique, ne convient pas sur les nappes, lui préférer les rouleaux en polyéthylène bien qu'ils soient plus difficiles à entretenir. Le diamètre du rouleau sera adapté au poids du tissu et à la complexité de la pièce.

La résine étant pré-accélérée, lorsque tout est prêt on catalyse la résine pesée en mesurant la quantité de catalyseur au moyen d'un flacon doseur et, on mélange soigneusement. Lorsque le mélange est homogène, généralement les résines changent légèrement de couleur, on peut commencer la "strat".

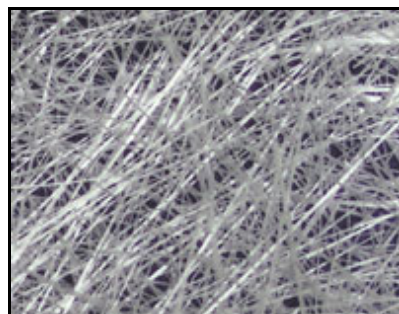
- [Les distributeurs de résines et colles](#)
- [Equipement de l'atelier polyester](#)

DÉBUT DE LA STRATIFICATION

Pour appliquer le premier mat, on passe une fine couche de résine au rouleau enducteur sur le gel-coat. Il est important que la couche de résine soit fine, car les excès de résine sont impossibles à enlever. On pose le mat. Souvent il aura tendance à faire des plis, on les fera disparaître en se servant du rouleau débulleur sans appuyer. Lorsque l'on fabrique une pièce pour la première fois, on pèsera les tissus. Si notre couche de mat pèse 300gr, il ne faudra appliquer 900gr de résine. Si on utilise un mat de surface, on mettra un peu plus de résine. En début de stratification il est impossible de répartir uniformément la résine, certaines parties du tissu seront plus imprégnées que d'autre avant de rajouter de la résine, il faut lui laisser le temps de pénétrer dans les tissus. Après seulement les zones trop pauvres seront rechargées en résine. Si la pièce est brillante, pour éviter que les tissus marquent le gel-coat, il est conseillé de laisser le premier mat polymériser.

Les grosses erreurs :

- Débuter la stratification sur un gel coat insuffisamment polymérisé ou en trop fine épaisseur la conséquence sera que le gel-coat frissera.
- Appuyer trop fort sur le débulleur, on risque de casser les fibres la résistance mécanique de la pièce sera diminuée et risque d'endommager le gel-coat.
- Mettre trop de résine, la pièce sera trop lourde.
- Imprégner avec un pinceau dans un mouvement vertical de façon insistante la résine mousse et les micro-bulles produites ne s'en iront pas. Il faut laisser le temps à la



résine de pénétrer les tissus.

- Utiliser de la résine en cours de gélification, la pièce est foutue.

Imprégnation et choix des renforts:

Sachant que la stratification d'un mat nécessite environ 3 fois son poids en résine et un taffetas de rowing entre 1 et 1,5 fois son poids, pour obtenir des pièces plus légères on sera naturellement tenté de supprimer les mats. En supprimant les mats dans les parties de la pièce supportant des efforts à la compression vous ne gagnez rien car le mat a une bien meilleure résistance à la compression qu'un rowing. Bien sur un mat est beaucoup plus difficile à stratifier correctement qu'un rowing et, nécessite plus de travail, pour obtenir une pièce performante. Toutes fois il est possible de se passer des mats, mais en utilisant des tissus très plats et..et..il ne faut pas que la peau que l'on fabrique ait besoin de raideur. La raideur de la peau sera fonction du produit $E * I$ dans lequel I est le moment d'inertie de la peau directement lié à l'épaisseur et varie comme le cube (résumé rapide de la formule $E * épaisseur^3$) E étant le module d'élasticité en flexion. Ce qui signifie que le polyester n'étant pas un matériau raide, il aura besoin d'épaisseur, même dans les peaux des sandwiches, sauf si celles-ci sont exclusivement sollicitées en traction, mais dans ce cas le sandwich n'a aucun intérêt.

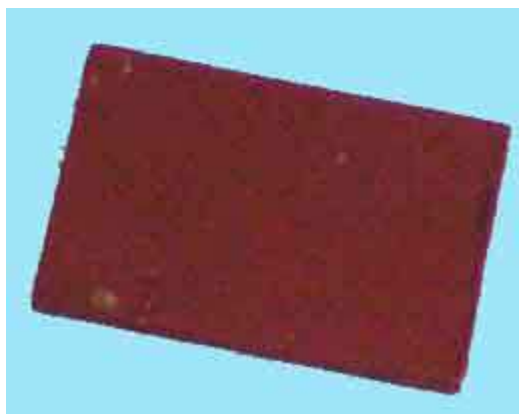
%de verre	33	29	25
Densité			
Résistance à la traction kg/mm ²	1,5	1,45	1,4
Résistance à la flexion kg/mm ²	12	10	7
Module de flexion kg/mm ²	21	17	14
Module de flexion kg/mm ²	800	600	500

Étudiez soigneusement ces deux tableaux, en valeur absolue, ils ne veulent rien dire, mais ils peuvent vous permettre de "sentir" le matériau, en fonction de vos contraintes.

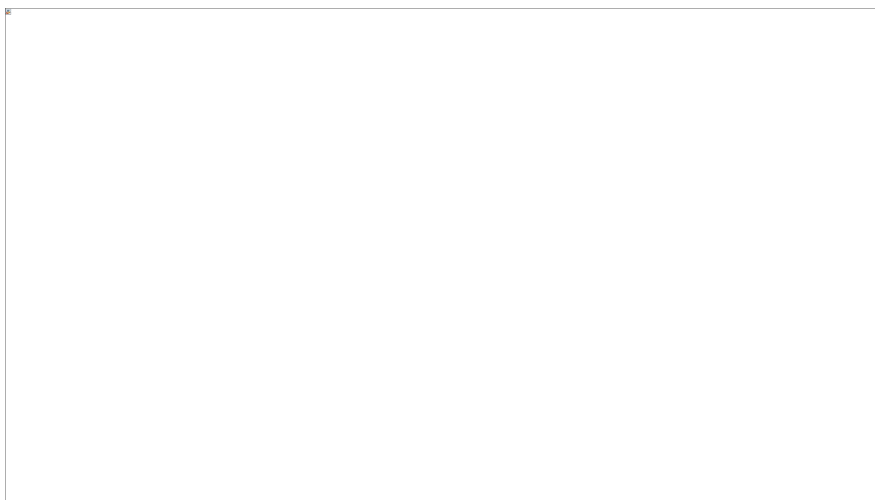
source, revue Bateaux

Renforts	Ep.	% verre	Traction	Flexion	module flexion
2 mats 450	2,2	30	10	15	600
2 rovings 850	2,0	45	25	25	1200
1 roving 450 1 mat 850 1 roving 450	3,0	42	19	25	700
1 roving 450 1 mat 850 1 roving 450 1 mat 850 1 roving 450	5,6	45	22	19	1100

Cale à lisser de carrossier elle pourra être utilisée pour stratifier en faisant des mouvements en 8 sur des rovings. Il est important de choisir des cales de bonne marque. Ne pas les laisser séjourner dans l'acétone, elles deviennent énormes.



- Au début du sujet nous avons prévu un récipient pour la résine épaissie. Nous utiliserons ce type de résine chaque fois que les tissus auront de la peine à passer, soit dans un angle trop fermé, soit sur un congé trop petit et qu'il y a risque d'apparition de bulles.



[!\[\]\(4729e517bc6a7cd81c8025b9646574fb_img.jpg\) Les publications nautiques dans l'annuaire.](#)



MOULAGE AU CONTACT SUR MANNEQUIN

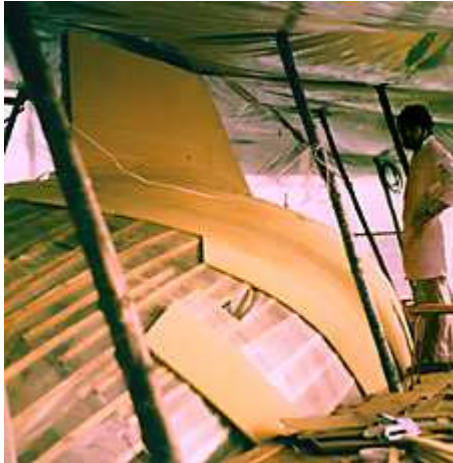


Le début du travail sera sensiblement différent dans la mesure où nous ne disposerons pas d'une surface dure et lisse.

La **première étape** : On posera un film plastique sur toute la surface à stratifier. Le film sera généralement agrafé.

Ensuite on applique l'âme du sandwich qui sera généralement de la mousse P.V.C, ou du balsa

bois debout. Dans une construction sandwich a certain endroit, retour de galbord, appuie de semelle de quille etc. L'âme est supprimée pour la construction de la première peau nous ne nous en occuperons pas. Nous enlèverons l'âme avant de construire la peau intérieure.



Un faux sandwich, la mousse polyuréthane est appliquée sur un polyanne.

Avant de commencer la stratification nous allons surfer notre support en mousse ou en balsa. Il faudra être particulièrement attentif au balsa, car dans les faibles rayons de courbure, chaque coin des carrés aura tendance à ressortir. Il faudra bien les lisser avec un papier grain 120, sur une cale avec beaucoup de dextérité.

Derniers préparatifs : La pré imprégnation, pour le balsa on pourra utiliser la recette donnée pour le collage des cloisons. Certain préconisent l'application d'une colle a base de résine et de gel de silice appliqué au peigne(environ 100gr à 200gr/m²) dans ce cas le premier mat et appliqué avant la polymérisation de la colle. Je préfère la première solution car elle permet de figoler le surfaçage(la pré-imprégnation immobilise le balsa), et cela évite des heures et des heures de ponçage en finition.

A ce stade on procède de la même manière que pour une "strat" sur moule. Npus pourrions être tentés de stratifier directement sur le polyanne et, de coller l'âme après. C'est possible, mais cela génère beaucoup de défaut dans la forme et demande beaucoup de finition, en corollaire un alourdissement inutile. Alors a éviter.

[Les peintures et mastics dans l'annuaire.](#)