

COMMENT SONT CONSTRUITS NOS VOILIERS ?



Chapitre 1

La construction de la coque



C'est la phase la plus spectaculaire de la construction. En quelques semaines, de la préparation de la pose des bordés au retournement, nous voyons apparaître la coque dont l'aspect général ne changera pratiquement plus jusqu'à la mise à l'eau.

Texte : Marine Chombart de Lauwe. Photos : Yves Ronzier et l'auteur.

Les premiers jours de la construction d'un RM 1050 ont quelque chose de magique. Peut-être en raison de son mode de fabrication – le contreplaqué époxy. Un entassement de panneaux de bois se transforme en quelques jours, quelques heures presque, en une coque assez grande et assez solide pour supporter nos rêves, une forme qui nous laisse déjà entrevoir des mouillages paisibles... Mais nous n'en sommes pas encore tout à fait là. Il est tôt ce matin et dans le chantier rochelais Forà Marine, on s'agit déjà autour du mannequin libéré de sa précédente coque depuis plusieurs jours. Une nouvelle va venir l'habiller pendant quelques semaines. C'est donc le grand jour, celui où le voilier prend forme. Les bordés, assez longs pour relier l'étrave au tableau arrière, ont été constitués il y a déjà quelques jours afin qu'ils aient le temps de sécher et sont sagement empilés dans un coin. Au centre trône le mannequin. Une structure d'aspect grossier, formée de treize couples découpés dans un aggloméré épais. Vu depuis l'avant ou l'arrière, on peut déjà y voir la forme de la carène.

Seulement quatre cloisons

Chacun des couples, depuis l'étrave jusqu'au tableau arrière, représente une section transversale de la coque. Quatre cloisons structurelles ont déjà été mises en place : celle du coffre arrière, celle qui va recevoir les portes donnant accès aux cabines arrière, la cloison qui marque l'emplacement du lit breton et enfin celle qui isole la baïlle à mouillage. Ces cloisons, comme chacun des couples qui forment le mannequin, ont été positionnées avec soin. Des entretoises solidifient l'assemblage et des cales vissées permettent de fixer les bordés et de mettre en place les cloisons avec un maximum de précision. Ces cloisons, découpées numériquement, arrivent au chantier en deux ou trois parties qui sont assemblées avant d'être fixées sur les couples. Pour cela, une longue encoche est faite sur chacun des chants qui doivent être réunis. Cette feuilure, qui forme une sorte de tranchée dans l'âme du CP, n'est absolument pas visible sur les plis extérieurs. On y



Les cloisons qui resteront solidaires de la coque se fixent sur les couples du gabarit. Une feuilure (en haut à gauche) facilite l'assemblage des cloisons formées de 2 ou 3 morceaux.



Les bordés sont provisoirement maintenus grâce à des vis qui traversent le contreplaqué (à gauche) et se prennent dans des cales de bois fixées sur les couples qui forment le gabarit (à droite).



Le bordé de fond, taillé dans un panneau de 15 mm d'épaisseur, est le premier à être posé.



Une latte de serrage facilite le collage du bordé sur la serre-bauquière.



Un dernier trait de scie (circulaire) vient parfaire l'ajustage des bordés.

— VISITE CHEZ POLYTECH —

Les secrets du découpage numérique

Dans l'usine charentaise qui se situe à quelques kilomètres de Fora Marine, les machines tournent à plein régime. Celle qui nous intéresse est au centre du lieu, une pile de planches d'okoumé étiquetée « RM 1050 » posée à proximité : nous sommes chez Polytech, spécialiste reconnu de la découpe numérique du bois. L'intérêt de ce type de découpe ? Gagner du temps et surtout obtenir des pièces usinées avec une précision millimétrée. En effet, les plans de découpe sont fournis sur fichiers informatiques par Fora Marine, qui a étudié avec soin la meilleure manière d'exploiter les quinze panneaux destinés à former les bordés. Ainsi, une ou plusieurs pièces sortent de chacun des quinze panneaux de contreplaqué qui vont former les bordés. Le bureau d'étude de Polytech établit ensuite la programmation des machines, en fonction des outillages en présence, en transférant les données sur un logiciel spécifique dénommé Goéland. Pratiquement, cela se traduit au moment de la découpe par le lancement du programme sur un ordinateur qui va commander

précisément l'action d'une demi-douzaine d'outils qui vont scier, percer, marquer, fendre les panneaux. On y retrouve la localisation de la découpe, le temps d'application de chaque outil... On peut obtenir une découpe uniquement sur le plat du panneau, mais sur une profondeur précise qui permet de marquer des encoches.

Un brevet déposé

Fort de cet outillage, Polytech a mis au point un type de scarf un peu particulier permettant d'assembler les différentes parties des bordés avec une technique idéale, brevetée et spécifique à Polytech, qui ressemble un peu à un puzzle. La largeur de ce scarf varie, comme sur n'importe quel scarf, en fonction de l'épaisseur du panneau. Il est de dix fois l'épaisseur du bois travaillé, soit dans le cas présent, de 15 ou 18 cm. Ainsi les parties ne sont pas raboutées mais intimement emboîtées pour une meilleure tenue. Le temps de découpage proprement dit est d'environ 5 heures pour l'ensemble, sans tenir compte de la mise en place du système.

Le plan de travail est ainsi soigneusement préparé. Sur celui-ci est posée une planche lissée par un rabot (de la machine) pour que le support soit parfaitement homogène. Cette planche est maintenue immobile durant l'opération, tout comme celle que l'on place sur elle pour être découpée, par un système d'aspiration par le dessous. Les outils spécifiques qui vont servir à la découpe sont emboîtés sur la tête de commande. C'est elle qui va agir. Avant d'usiner à proprement parler les pièces, un test de découpe est effectué sur une chute de contreplaqué pour vérifier que les deux parties s'emboîteront parfaitement. C'est l'occasion pour nous de découvrir ce fameux « assemblage Polytech ». Une fois qu'il est confirmé, les derniers petits réglages sont mis en place et le processus est lancé. Un panneau est glissé, aspiré, puis la machine enclenchée. Puis un autre, après passage de la soufflette qui repousse les poussières, est découpé. Chaque pièce découpée est identifiée par un système de lettres et de chiffres pour qu'à l'heure de l'assemblage on puisse s'y retrouver.



La machine se programme avec un clavier d'ordinateur.



La découpe numérique permet une précision inégalable.

La vérification du bon emboîtement des deux parties du scarf Polytech est une étape indispensable.



insère une fine latte de contreplaqué enduite avec de la colle polyuréthane (PPU) au moment de former la cloison. Les deux pièces sont ainsi réunies de manière discrète et homogène au moment où on les installe sur le mannequin. Sur ce dernier, c'est l'un des couples qui joue le rôle du tableau arrière. Le véritable tableau est en effet au départ solidaire non pas de la coque mais du pont. Cet ensemble pont-cockpit-tableau arrière forme une pièce aussi impressionnante que la coque mais elle est fabriquée en stratifié de polyester. Afin d'assurer un bon assemblage des bordés, ceux-ci sont sensiblement plus longs que la coque finale. Celle-ci mesure en effet près de 11 m au moment de sa construction, soit 50 cm de plus que les 10,47 m qu'elle mesurera in fine, lorsque le pont viendra la coiffer.

Un ajustement à l'œil

C'est sur cet ensemble que viennent se fondre les bordés mais nous n'en sommes pas encore là. Pour l'heure, le premier des sept bordés, celui qui forme le fond de la coque, le moins épais de tous (15 mm), un renfort venant s'ajouter par la suite à cet endroit, va être positionné. La plus grande précision est ici de rigueur : aucun décalage n'est permis par rapport à l'axe longitudinal de la carène, car cette première pièce va gouverner l'ensemble de la structure et la pose des autres bordés. Entre l'axe légèrement marqué sur le CP lors de la découpe numérique et celui du mannequin visible sur chaque couple par les trous centraux dans lesquels passent un fil tendu et une ligne gravée dans l'aggloméré, les repères sont multiples. Il faut jouer du serre-joint tant que l'œil ne peut pas constater un alignement impeccable. Une fois que ce premier bordé a trouvé sa place, il est fixé à l'aide de vis auto-taraudeuses qui pénètrent facilement dans le contreplaqué et sont reprises dans des cales en bois disposées tout le long des couples.

Ce premier ajustage achevé, l'équipe peut passer à la pose du deuxième bordé. Et c'est ici que l'on mesure la vraie révolution que représente l'utilisation du joint congé dans la construction en contreplaqué. Auparavant, les bordés se fixaient sur des



PUZZLE

La fabrication des bordés

Les panneaux de CP ne mesurant que 3,10 m de long, il faut, pour couvrir la coque, mettre quatre voire cinq morceaux bout à bout. Grâce au découpage numérique de Polytech, ce n'est pas le scarf classique qui est ici utilisé mais un assemblage où les deux pièces s'emboîtent comme dans un puzzle.

Les deux pièces sont enduites à l'aide de colle époxy avant d'être assemblées.



Un système de presse assure le maintien des différents panneaux pendant toute la durée du collage.



Dès qu'un bordé est en place, un joint congé vient le solidariser au bordé précédent.



La réalisation du joint se fait par l'extérieur mais le même travail est aussi effectué à l'intérieur de la coque.

Après 24 heures, une fois les vis ôtées, les trous sont rebouchés avec de la résine époxy chargée.

CONSTRUCTION SUR MANNEQUIN

La coque en deux étapes

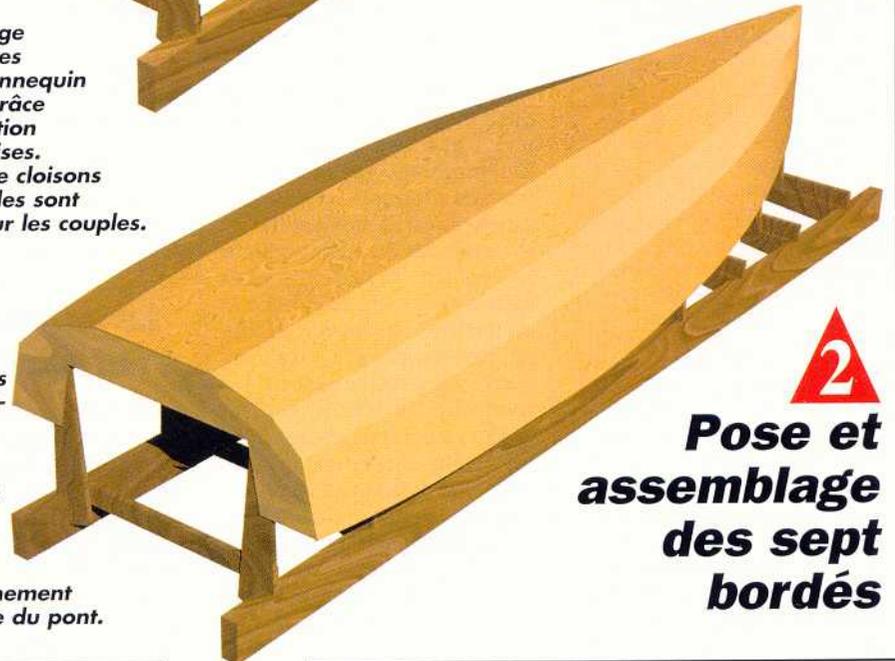
La coque du RM est construite à l'envers sur un gabarit. Les couples, fixés sur un châssis indéformable, sont aussi reliés entre eux par des entretoises. Seules quatre cloisons sont en place avant la pose du bordé.



1

Calage des couples et placement des cloisons

L'équerrage des couples sur le mannequin est calé grâce à l'utilisation d'entretoises. Les quatre cloisons structurelles sont vissées sur les couples.



2

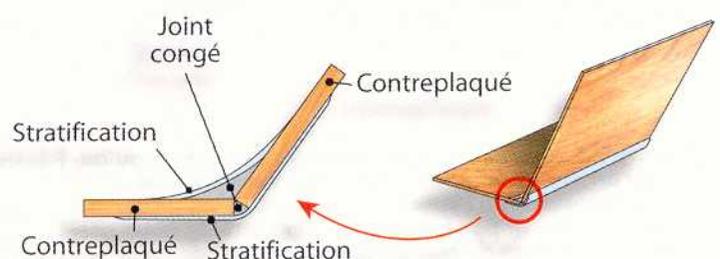
Pose et assemblage des sept bordés

Dans la pratique, les bordés se prolongent au-delà du tableau arrière et ne sont ajustés qu'après le retournement et la pose du pont.

BOUCHAINS VIFS

L'assemblage des bordés

Les serres de bouchains ont disparu au profit d'un joint congé et d'une stratification. L'assemblage gagne ainsi en poids de structure et offre plus de souplesse à l'architecte pour le dessin des emménagements intérieurs.



serres, longues baguettes de bois massif qui marquaient précisément les bouchains. Et entre deux serres, des lisses venaient renforcer la structure. Sur le RM 1050, malgré le triple bouchain, ne subsiste que la serre-bauquière indispensable à la liaison entre le bordé supérieur et le pont. Ici, ni serre ni lisse ne relie l'étrave au ta-

Les mots pour le dire...

Serre-bauquière : serre en bois massif qui se trouve à l'angle du bordé supérieur et du pont.

Bordé : chacune des planches qui composent l'ensemble du revêtement de la coque.

Epoxy : famille de colles mono ou bi-composantes à performances très élevées.

Les époxy bi-composants fonctionnent par mélange d'une résine époxy et d'un durcisseur.

Chèvre : appareil de levage composé le plus souvent de trois poutres disposées en pyramide triangulaire dont le sommet soutient une poulie manœuvrée à l'aide d'un treuil.

Ebuleur : rouleau doté de petites dents qui permet, comme son nom l'indique, d'éliminer les bulles qui peuvent se former dans le tissu lors de la stratification.

Scarf : technique qui permet d'abouter deux pièces en bois massif (ou en contreplaqué) pour en augmenter la longueur utile ou supprimer des défauts (nœuds, gerces, etc.) sans modifier leurs dimensions à l'emplacement du joint. Correctement réalisé, le scarf permet de récupérer 95 % de la résistance originelle.

bleau en dessinant un véritable squelette entre couples et cloisons. La mise en place de ces serres et leur équerrage représentaient un travail long et fastidieux. Toute cette ossature sur



laquelle venait se fixer la coque est maintenant oubliée : les panneaux qui forment les bordés sont simplement reliés entre eux par l'intermédiaire d'un joint congé et d'une stratification. L'assemblage gagne ainsi en poids de structure... et offre plus de souplesse à l'architecte pour le dessin des emménagements, ce dont il ne se prive pas. Mais même avec cette technique et en utilisant des bordés découpés numériquement, un ajustage à la scie circulaire est parfois nécessaire. Il ne s'agit que d'ôter quelques millimètres de CP ici ou là pour assurer une mise en place correcte des bordés.

Pas d'inquiétude, cela n'influera pas sur la bonne tenue de l'assemblage car les écarts entre chaque bordé sont remplis par un joint congé qui sera stratifié au final. Ce fameux « congé »,

n'est pas fait à partir d'un simple mastic mais se compose d'une résine époxy épiphène préchargée, vendue prête à l'emploi. Cette colle auto-remplisseuse destinée aux assemblages bois/bois permet une pénétration suffisante de l'époxy qui évite de réduire le collage à une épaisseur trop faible.

Le mannequin disparaît...

On y ajoute parfois un complément de silice qui permet de renforcer ces effets mécaniques en augmentant la dureté du mélange. La quantité de résine, tout comme celle du durcisseur, est mesurée de manière très précise pour que la « sauce » prenne correctement. Le durcisseur est choisi en fonction de la température ambiante, lent si la chaleur est au rendez-vous, rapide dans le cas contraire. Les deux composants sont également mélangés longuement à l'aide d'une spatule pour obtenir une pâte visqueuse homogène. Avant de l'appliquer, on fixe un ruban cache pour limiter les débords et les dégoulinures à l'intérieur de la coque. Car le joint congé, réalisé dans un premier temps à l'extérieur de la coque, est également effectué à l'intérieur. Un travail d'ailleurs pénible, car il faut se glisser sous la coque retournée et évoluer dans un espace cloisonné par les couples et les cloisons. L'époxy est un

La stratification des bouchains vient renforcer la liaison réalisée à l'aide du joint congé.



Les bouchains sont ponçés après stratification pour obtenir un joint invisible entre CP et tissus de verre.

matériau particulièrement solide et c'est tant mieux, sauf quand il faut le poncer : mieux vaut limiter au maximum les coulures. Dès que trois, puis quatre bordés sont en place, la forme commence à se dessiner, les fameux bouchains vifs, inhérents à l'utilisation de ce matériau apparaissent. Le mannequin disparaît peu à peu pour laisser place à l'objet de toutes nos attentions : la coque.

Chaque ajout de bordé ressemble aux précédents, les panneaux étant de plus en plus cintrés au fur et à mesure que l'on s'écarte de la ligne de quille. Avant de mettre en place les deux derniers bordés, qui formeront l'essentiel des œuvres mortes une fois le bateau mis à l'eau, il faut installer les fameuses serre-bauquières qui rigidifient l'ensemble et jouent un

SERRE-BAUQUIERE

Le scarf classique



Surface à encoller

Les serre-bauquières qui courent depuis l'étrave jusqu'au tableau arrière et servent d'appui à la liaison coque-pont sont le résultat de l'assemblage de plusieurs pièces de bois massif par la technique du scarf. Le biais qui sert de plan de collage doit avoir une longueur au moins égale à dix fois l'épaisseur de la pièce.



rôle majeur dans la liaison coque-pont. Ces serres sont réalisées en bois massif, il s'agit de belles pièces d'acajou aux qualités de résistance mécanique et de vieillissement reconnues pour les charpentes de marine.

La technique du scarf

Pour obtenir des pièces suffisamment longues, on a recours à la technique classique du scarf (voir dessin). Les serres viennent s'insérer dans des encoches prévues dans le mannequin et sont vissées tous les 20 centimètres dans les cales en bois du gabarit pour s'assurer d'un cintrage régulier. Le dernier bordé (le supérieur qui se trouve ici en bas, la coque est toujours à l'envers) est ensuite plaqué et vissé

PARE-CHOCS

La fabrication de l'étrave

L'étrave est une partie sensible qui doit être d'une résistance sans faille, d'autant que le RM est un bateau de voyage. La partie principale de l'étrave en lamellé collé, qui cumule l'avantage de la légèreté du bois et de la résistance du système époxyde, est placée sur le mannequin avant le début de la pose des bordés. Mais pour finir la partie avant et arrondir l'étrave on y ajoute deux épaisseurs de contreplaqué. En cas de choc, c'est cette contre-étrave qui est touchée sans que la structure du bateau soit directement affectée.



Dans un premier temps les bordés et les serre-bauquières dépassent de l'étrave.



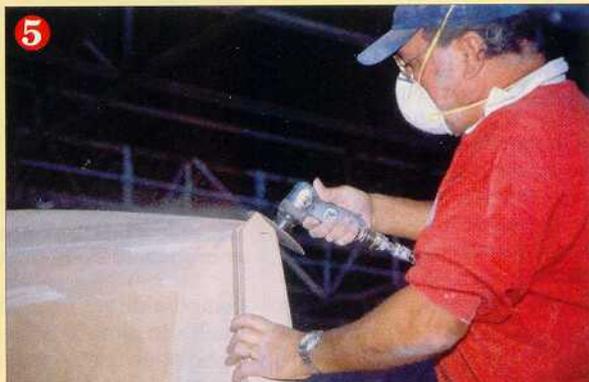
Après avoir arasé les bordés, on vérifie à l'aide d'une règle la rectitude du plan de l'étrave.



La pièce de lamellé-collé est ensuite enduite de colle époxy à l'aide d'une raclette crantée.



Avant le collage, la contre-étrave a déjà été ajustée, des repères permettent de la remettre en place. Les vis garantissent la bonne tenue du collage.



La ponceuse à disque est utilisée pour raboter les excédents de matière.



Avant le passage de l'enduit puis de l'apprêt, la nouvelle étrave doit être parfaitement alignée avec les bordés.

sur la serre-bauquière, légèrement en force pour limiter au maximum les interstices.

Il n'a fallu que deux jours pour mettre tous les bordés en place, le gros du travail serait-il déjà terminé ? En réponse à cette question, le sourire amusé d'Alain, le chef d'atelier, me fait bien comprendre que certes, la manipulation est impressionnante et l'avancée spectaculaire, mais que le plus long reste à faire. Car on ne peut certainement pas se contenter de cette simple apposition. Même sans parler du pont, des emménagements ou de l'accastillage, cette coque demande encore beaucoup de travail. Par exemple sur l'étrave. Cette dernière nécessite une journée de travail à elle seule. Pendant ce temps il faut également finir les joints époxy intérieurs qui relient bordés et cloisons entre eux. Car au moment du retournement, il ne restera plus que ces dernières pour assurer la rigidité de l'ensemble de la coque avant la pose des autres emménagements et le collage du pont.

Préparation de la coque

Cette étape accomplie, il faut alors préparer la coque pour la stratification des bouchains qui sert, lorsque la structure est disjointe – ce qui est le cas ici – de complément et de renfort de coque. Fora Marine propose en option la couverture complète de la coque par du tissu de verre ou même du kevlar, mais aujourd'hui nous nous satisfaisons de la pose de tissu uniquement sur les bouchains. Pour ce faire, il faut attendre le séchage complet du joint congé : trois heures avec un durcisseur rapide, six avec un lent, utilisés selon l'importance de l'effort qui va être fourni au niveau de l'assemblage et la température extérieure. On attend souvent jusqu'au lendemain et, après ponçage de la coque, on enlève les vis qui ont servi au montage et chaque trou est soigneusement rebouché avec une résine époxy chargée. Le tissu de verre est ensuite posé d'une seule traite après imprégnation (voir encadré). On compte encore au minimum vingt-quatre heures de séchage, souvent un peu plus avant de pouvoir continuer : car il faut poncer avant de passer l'enduit qui va lisser la stratification et les imperfections. Celui-ci se



On utilise une balance pour effectuer le dosage des composants de l'enduit avec un maximum de précision.

compose de résine époxy à laquelle est ajoutée de la poudre de bois pulvérisée qui lui donne sa consistance. Une bonne partie de la coque, car on étale largement l'enduit pour faire une surface la plus lisse possible, est alors déjà recouverte d'époxy.

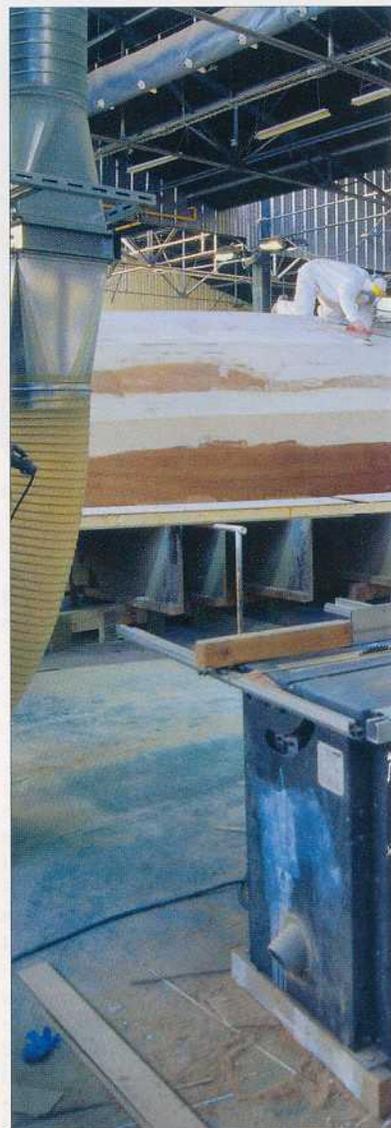
On passe à l'apprêt

Le ponçage est de nouveau de rigueur pour pouvoir affiner l'enduit à l'aide d'un mastic de finition. Les bouchains marqués sont dorénavant adoucis. Après un dernier ponçage au grain fin pour ne pas laisser de traces de disque, la ponceuse bien à plat afin que le disque at-

taque régulièrement la surface, c'est le moment de passer à l'apprêt : c'est lui qui va assurer l'étanchéité parfaite, qui va traiter le bois.

Avant son application, la coque est passée à l'acétone afin de retirer toutes les poussières et de bien dégraisser la surface. Et une bande cache est apposée au niveau de la serre pour garantir une bordure propre. L'application de l'apprêt se fait au pistolet, une petite bonbonne régulièrement rechargée contenant le produit. Le dosage est donc préparé au fur et à mesure pour pouvoir être opérationnel en

Les fastidieuses phases de ponçage sont incontournables dans la construction en CP.



RENFORTS

La stratification des bouchains

La mise en place d'une stratification sur les bouchains renforce la résistance de ces derniers et assure leur étanchéité. Un tissu de verre est également posé à l'intérieur de la coque après retournement.

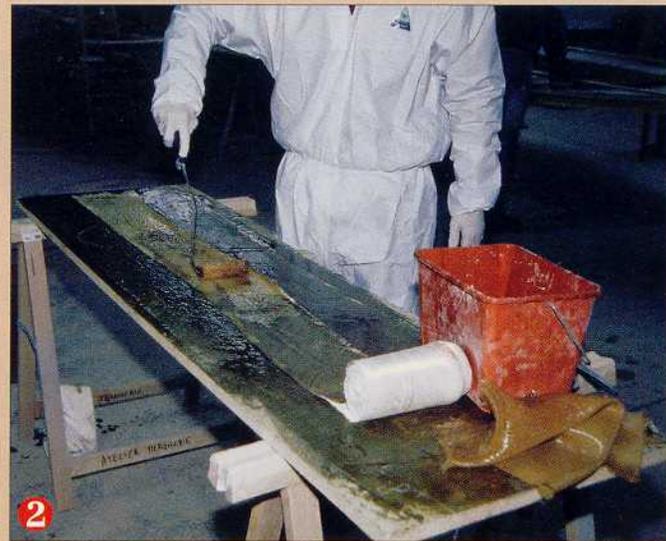


Le deuxième enduit, dit de finition, avec un grain très fin, est d'une couleur différente du premier.



1

Cette machine actionnée par une manivelle sert à doser le catalyseur avec précision.



2

Sur un plan de travail on imbibe le tissu - un satin verre de gros grammage - de résine.



3

Comme il faut le poser d'une seule pièce sans faire de jonctions, il est imprégné puis enroulé autour d'un rouleau métallique.



4

L'opération (dérouler, imprégner, enrouler...) est répétée jusqu'à obtenir la longueur totale du bouchain.



5

Le tissu est déroulé le long du bouchain qui a été préalablement imprégné car le bois a tendance à « boire » la résine.



6

Comme il ne faut absolument ni pli ni bulle, on lisse à l'aide d'un ébulleur jusqu'à obtenir la transparence du tissu.

MANIPULATION

Le retournement de la coque

Le poids et la taille de la coque imposent une manipulation assez spectaculaire. Mais pour effectuer cette épreuve impressionnante, la présence de trois personnes et d'un portique adapté suffisent.



2

Déplacée puis posée sur des tréteaux, la coque est fixée à une longue sangle qui va faciliter le retournement.



1

Après avoir installé une traverse qui assure la rigidité de la coque, on met en place des fixations de chaque bord pour la soulever à l'aide d'un portique.



3

Le retournement proprement dit a commencé. Remarquez le rôle de la sangle jaune qui freine le retournement sans abîmer les bords.

temps et en heure. Comme il ne faut pas trop charger pour ne pas risquer d'obtenir des déformations, le peintre passe deux ou trois couches, successivement, sans véritable temps de séchage, pour que se forme une couche homogène de 1 à 2 mm. En trois heures, un peu plus de 20 kg de mélange liquide (Epoxy Epipha de Bostik Findley) auquel on aura ajouté durcisseur et diluant sont ainsi pulvérisés. Il faudra compter quarante-huit heures de séchage.

Enfin la coque est à l'endroit !

Avant de s'attaquer au dernier morceau, le retournement, la coque est une fois de plus soumise au régime de la ponceuse. On passe auparavant de l'acétone colorée en bleu. Il s'agit de dégraisser la coque mais aussi de contrôler le dernier passage de la ponceuse. On est ainsi sûr qu'aucun centimètre carré du bordé n'aura échappé à la machine. Il s'est écoulé près d'un mois depuis le début du travail sur les cloisons. Après 200 heures de travail, cette longue étape est terminée et l'on peut enfin, après



La pose de l'apprêt se fait au pistolet en deux ou trois passes pour assurer un fini impeccable. Puis la coque est nettoyée avec de l'acétone teintée en bleu avant un dernier ponçage coque à l'envers.

le moment toujours spectaculaire du retournement, voir la coque dans son état le plus naturel : à l'endroit. Avant même de réaliser la pose des emménagements, la coque va être renforcée par une stratification des joints congés réalisée à l'intérieur des bouchains. Mais ça, c'est déjà le début de notre deuxième chapitre... ▲

Ça y est, la coque est retournée. Avant de poser les emménagements les bouchains seront stratifiés par l'intérieur.

