

Dossier Technique

Dossier n° 63b - Publié dans Looping n° 51

MOULAGE

La fabrication du moule

2ème partie

Thierry Arvieux

Dans la première partie de ce dossier technique, nous avons appris comment réaliser un master.

Vous avez suivi les étapes et votre merveille est maintenant prête à l'emploi. Nous allons pouvoir songer à attaquer la deuxième étape : la fabrication du moule.



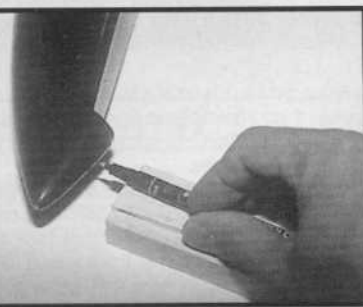
Le master est parfait, les choses sérieuses vont commencer.

Le tracé du plan de joint

La première chose à faire consiste à découper la table de travail qui permettra de constituer le "plan de joint" du moule et donc des futurs fuselages. On utilise pour cela une planche de mélaminé (de l'aggloméré recouvert des deux côtés par une surface lisse et dure) de 12 à 15 mm suivant la taille de votre master. Pourquoi du mélaminé me direz-vous ? Pour une raison toute simple, il faut savoir que la résine n'accroche pas sur ce type de revêtement, cela fait donc parfaitement notre affaire.

Avant de vous précipiter à la grande surface du coin, mesurez votre master. Il faut prévoir une marge de 3 à 5 cm tout autour de la forme pour constituer le bord du moule. Achetez-en un peu plus que prévu pour pouvoir fermer l'arrière de la dérive et également le dessous de la verrière, voire même l'ouverture du capot s'il s'agit d'un avion. Ce matériau n'est pas très cher et il serait dommage d'en manquer.

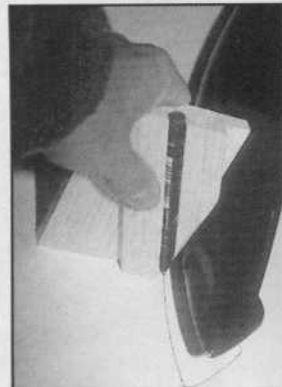
Le master est calé soigneusement à l'horizontale puis l'axe de symétrie est tracé avec un feutre indélébile placé sur une cale.



Le feutre est immobilisé dans une cale d'équerre. Le plan de joint est tracé en suivant les contours de la forme.

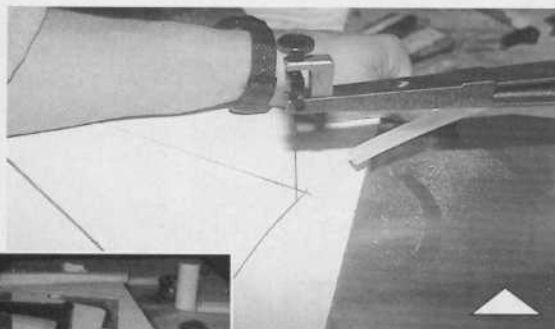
Il va falloir ensuite tracer la silhouette du fuselage sur cette planche. Petit conseil en passant, s'il s'agit de votre premier moule, soyez raisonnable, ne choisissez pas une forme trop complexe, ni trop grosse pour ne pas investir trop d'argent dans les matériaux, ni trop petite pour que les fuselages restent faciles à mouler.

Pour délimiter le contour de la silhouette, nous allons avoir besoin d'un petit outil à tracer. Tout d'abord, il faut immobiliser le master bien horizontalement sur la planche avant de réaliser un quelconque marquage. On va profiter de l'occasion pour tracer l'axe de symétrie sur la forme avec un feutre indélébile placé sur une cale, à la



bonne hauteur. Un fuselage avec un plan de joint placé bien centré est quand même plus joli et plus facile à démouler aussi. L'outil de traçage du plan de joint est en fait une équerre adaptée pour recevoir un feutre pointe fine. J'utilise un morceau de planche sur lequel sont collées deux baguettes emprisonnant en force le crayon. Petite astuce : en recoupant la base de l'outil, on recule le tracé. Si l'on recoupe la partie verticale, on avance la pointe. Arrangez-vous pour que votre tracé délimite le contour de la forme en laissant 8 à 15/10 de marge. Dans l'angle droit de l'équerre, la pointe du feutre dépassant à peine de l'angle, il suffit de poser l'équerre en butée contre le fuselage et ainsi faire tout le tour de la pièce. Le résultat alors obtenu est parfait, la précision assurée.

La découpe de la table de travail



La table de travail est découpée avec précaution.

Le plan de joint est calé sur le chantier. Des demi-couples sont disposés en dessous pour tenir la forme en place.

Le futur plan de joint est maintenant tracé, il va falloir découper la planche. Ceci ne sera pas chose facile étant donné la taille de notre fuselage. Pour mener à bien cette opération, nous avons utilisé une scie à chantourner de qualité

(Hegner) mais cela nous a tout de même valu quelques gouttes de sueur. Il est impératif que la découpe soit la plus précise possible. Toute imperfection à ce stade sera autant de travail de rebouchage en plus pour la suite.

Si vous employez une scie sauteuse, utilisez une lame métal qui fera moins éclater le bord du bois. Une première petite présentation de la pièce dans son plan de joint permettra de s'assurer qu'elle y est bien adaptée. On constate alors quelques petits défauts de découpe sans grande importance, tout cela sera facilement rattrapable par la suite. Un petit coup de râpe fera disparaître les éventuelles imperfections et les endroits où la pièce touche les bords. Voilà un magnifique plan de joint. Nous allons maintenant lui trouver des pieds afin de le rehausser de notre plan de travail, en alignant sa face supérieure sur l'axe du fuselage tracé précédemment. Il faut réaliser deux demi-couples du fuselage (diminués l'épaisseur de la planche) qui serviront à immobiliser la forme dans son plan de joint. La difficulté sera de la positionner précisément en son centre, ceci afin d'obtenir deux demi-moules identiques. Placez une autre cale sous la dérive pour éviter au fuselage de tourner. Le master est maintenant parfaitement immobilisé dans son plan de joint.

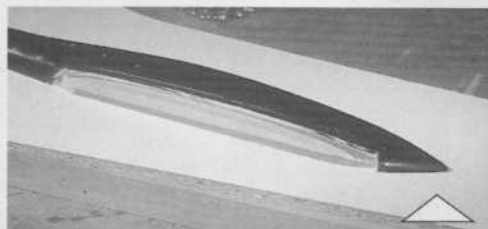
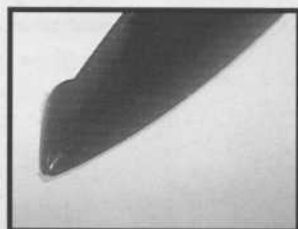
Il faut alors s'occuper des futures ouvertures du moule généralement situées à l'articulation de la dérive et au niveau de la verrière. Pour l'ouverture de la dérive, une chute de mélaminé sera collée verticalement contre le master. Pour la verrière, c'est un peu plus difficile puisqu'il faut découper une pièce de manière à obtenir un bord vertical qui renforcera l'ouverture sur les fuselages. Prévoir 3 à 5 mm de retrait tout autour.

La verrière sera elle aussi fixée sur du mélaminé, avec un débordement de 2 cm tout autour. Deux pièces biseautées viendront prendre place à chaque bout.



Une télécarte recoupée est utilisée pour combler l'ouverture entre le master et la planche de travail.

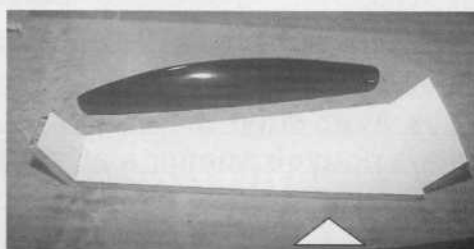
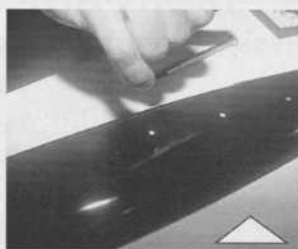
La Plastiline est une pâte qui ne réagit pas au contact de la résine. Elle est employée pour combler les joints.



Les défauts sont facilement rattrapables.

Finition du plan de joint

Il sera nécessaire de traiter le contour master/table de travail à la Plastiline. La découpe du plan de joint même très soignée laisse toujours apparaître un jour entre ledit plan de joint et la forme. Il faudra donc procéder à un rebouchage, pour au moins deux raisons. La première sera d'obtenir après traitement un plan de joint



Ne pas oublier de combler les trous, comme ici, les repères pour la nervure d'implanture. Ils apparaîtront après démoulage.

Un baquet pour la verrière est constitué avec les chutes de mélaminé.



Le bord est bouché avec soin à la Plastiline.

"parfait". La seconde raison sera bien sûr d'interdire à la résine toute migration lors de la stratification, en formant un joint étanche.

La Plastiline est en fait une sorte de pâte à modeler qui, après avoir été légèrement malaxée entre les doigts, devient extrêmement malléable et facile à appliquer aux endroits voulus. J'utilise comme outil une carte téléphonique taillée en parfait angle droit pour racle l'excédent de Plastiline. (N'utilisez pas n'importe quel outil susceptible de rayer la peinture du master). Veillez à ne pas négliger cette étape, c'est vraiment d'elle que dépendra la qualité de votre futur plan de joint. Il faut bien sûr pratiquer ce rebouchage tout autour de la forme, sans oublier le bord de la verrière ou celui de la dérive.



Vous pouvez sans problème augmenter le nombre de couches de cire par rapport aux indications du fabricant. Ce sera plus facile à démouler.

Quelques produits utilisés pour le moule. La fibre broyée est utilisée pour renforcer ou pour faire une couche accrochante sur le gel-coat. Les mèches de verres renforcent les angles.

La Verranne est un tissu utilisé pour les couches de surface du moule, à l'intérieur comme à l'extérieur. Enfin, le Mat de verre permet de donner de l'épaisseur au moule en superposant les couches à bon marché.



Le gel-coat utilisé est de couleur noire. Il est compatible polyester/époxy.



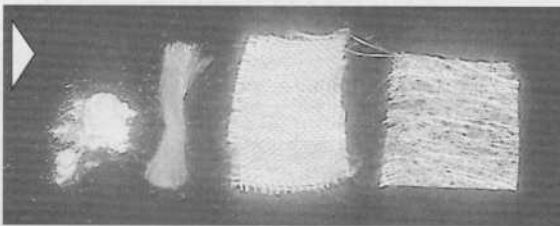
Le lustrage doit être effectué soigneusement en faisant de petits mouvements circulaires.

Le cirage

Encore une opération assez longue et délicate. Il ne faudra pas moins de dix couches de cire pour espérer un démoulage facile. Même si la notice indique que 3 couches suffisent, en mettre une dizaine ne fera rien de mal et le démoulage sera assuré à coup sûr. Les couches de cire appliquées seront fines, passées en effectuant un mouvement circulaire. Il n'est absolument pas nécessaire d'en mettre une tonne, au contraire, il sera préférable d'en passer plusieurs petites. Après chaque couche de cire, il vous faudra lustrer en douceur avec du coton par exemple. L'idéal est d'employer une serviette en tissu éponge pour ne pas laisser de fibres et pour ne pas marquer les couches précédentes. Lorsque la cire est sèche, elle devient mate et peut alors être lustrée. Veillez à ne pas oublier les recoins de votre pièce. Conseil en passant, patientez au moins une quinzaine de minutes entre deux couches de cire.

Protégez-vous !

Les matériaux composites - s'ils rendent de grands services pour la construction - ne sont jamais bons pour la santé. Nous vous recommandons donc de travailler avec des gants, même pour les plus petits travaux (mélanges, nettoyage...). Les gants en latex vendu en grande surface ne sont pas bien chers et finissent à la poubelle. Gardez-en toujours à portée de main. Utilisez également un masque, plus pour éviter de respirer des fibres que pour l'odeur. Il traîne suffisamment de choses dans l'air pour se gaver avec autre chose. Dans cette optique, essayez d'aérer le local régulièrement et passer un coup de balais dès que vous en trouvez le temps. Certains emploient même des lunettes de protection : ce n'est pas un luxe inutile. Enfin, pour finir, mettez une blouse pour éviter de vous tâcher. Il y a toujours une goutte qui tombe là où on ne l'y attendait pas.

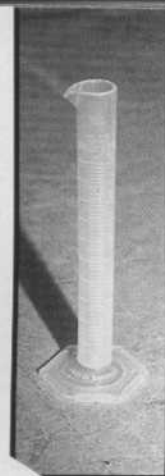


La stratification

Notre pièce à mouler étant parfaitement cirée puis lustrée amoureusement, il est temps maintenant de passer aux choses "sérieuses". Oui, mais



Le dosage doit être fait avec précision, encore plus s'il s'agit d'époxy.



Cette mini-épreuve est beaucoup plus pratique pour mesurer le durcisseur que s'il fallait compter les gouttes.

quel tissu utiliser pour ce travail ? Il en existe plusieurs sortes. Le premier que je citerai, est certainement le plus connu de tous : il s'agit du Mat de verre qui en fait de tissu est plutôt un amalgame de fibres entrecroisées anarchiquement. Il en existe dans différentes densités. Celui que nous utiliserons sera du 200 g/m². Il est à noter que ses caractéristiques mécaniques sont intéressantes pour confectionner un moule puisqu'il se déforme très aisément. Nous utiliserons aussi un tissu beaucoup plus fin répondant au nom de Verranne. Tout comme le Mat de verre, il en existe en différentes densités. Celui que nous avons choisi est encore un 200 g/m². C'est un tissu tissé assez fin et d'aspect un peu spongieux qui est mieux adapté pour les surfaces. Des mèches de verre seront utiles pour renforcer les angles. Vendues en rouleau, elles sont quasiment indispensables. Pour d'autres renforts plus ponctuels, de la fibrette sera utile. Il s'agit de fibres broyées qui, mélangées avec de la résine, permettront de combler des joints par exemple.

La résine

Nous avons choisi, pour mouiller tous ces tissus, de la résine polyester. L'époxy aurait pu tout aussi bien convenir. La différence de prix de revient a fait pencher la balance vers la résine polyester (3 fois moins chère). A chacun de voir. (A savoir, les caractéristiques mécaniques de la polyester sont un peu moins bonnes que la résine époxy : elle est plus cassante). Les mélanges ont également besoin de moins de précision avec la polyester.

Je viens de vous parler de la résine et des tissus que nous allons utiliser, mais avant cela, il nous faudra appliquer notre gel-coat. Comme chacun sait, on commence un moule par la finition. Nous utiliserons donc un gel-coat à moule pour résine polyester, celui-ci est de couleur noire. Ce dernier utilise le même catalyseur que notre résine polyester.

C'est parti !

Avant tout, il faut prévoir un récipient avec de l'acétone pour mettre à tremper les outils (pinceaux, rouleau déballeur, etc.). Pensez aussi à protéger le plan de



On commence par recouvrir la verrière de gel-coat pour être sûr de ne la l'oublier.



Le gel-coat est étalé au pinceau en prenant soin de ne pas faire de bulle. Ne pas hésiter à déborder sur le plan de joint.

Looping 27

travail avec du papier ou du plastique car les gouttes de résine seront difficiles à faire partir.

Nous préparons 500 grammes de gel-coat pour la première demi-coque, pour une quantité de 2,5 % de catalyseur. Le gel-coat est d'aspect crémeux (crème fraîche), il coule peu et peut donc emprisonner des bulles d'air. Pour cette raison, il faut éviter de le mélanger avec trop d'énergie mais plutôt faire des "8" avec une baguette pour le mélanger, en raclant les flancs du récipient pour le mélanger.

Il suffira alors de répartir la totalité du mélange sur notre pièce (sans oublier la verrière si vous la réalisez en fibre) et de bien l'étaler au pinceau, en débordant grassement sur le plan de joint. Lors de cette opération, veillez tout particulièrement à chasser toutes les éventuelles bulles d'air qui auraient pu rester emprisonnées dans les angles du fuselage.

Accroche et moulage



Les angles sont renforcés avec de la mèche copieusement imbibée de résine.



Quand le gel-coat est "amoureux", de la "fibrette" (fibres broyée) est saupoudrée sur la surface pour une meilleure accroche des tissus.



Les tissus sont disposés délicatement sans les faire glisser, surtout la première couche.

Ce travail étant terminé, laissez reposer l'ensemble jusqu'à ce que le gel-coat devienne amoureux, ou en clair, qu'il commence à prendre et qu'il n'accroche plus au doigt à l'effleurement. Pendant ce temps, nous avons pris soin de découper de la grosse mèche de verre que nous viendrons par la suite appliquer dans tous les angles de notre fuselage, afin de renforcer toute cette zone fragile. Le gel-coat est maintenant amoureux à souhait. Afin d'augmenter l'accroche sur celui-ci, il faut déposer par pincée de la fibre broyée sur toute la surface gel-coatée. La fibre broyée va adhérer au gel-coat encore tout de même collant, il suffira ensuite de souffler l'excédent. Le tissu et la résine qui vont suivre permettront une



parfaite accroche des matériaux. Ne pas se précipiter pour mettre la fibrette : si le gel-coat n'est pas suffisamment pris, la fibre risque de le traverser et de réapparaître en surface contre le master.

Nous préparons maintenant 300 grammes de résine dosée à 2 %. La dose maximum de catalyseur pour notre résine pouvant être utilisée est de 3,5 %. Nous avons préféré doser le mélange au minimum afin de limiter la réaction exothermique par effet de masse. Avec la polyester qui prend rapidement, il vaut mieux travailler par petites quantités (200 à 300 g à la fois pour un moule comme celui du Cortals) et en refaire régulièrement pour éviter la prise en masse. Le mélange étant prêt, nous pouvons mettre en place dans tous les angles toutes les mèches de verre que nous avons précédemment découpées. Une fois de plus, veillez à ne pas emprisonner de bulle d'air. L'outil du moment sera le pinceau. Il sera d'ailleurs plus utilisé comme un tamponnoir que comme un pinceau. Les premières couches de tissu utilisées seront découpées dans la verranne. Après avoir généreusement mouillé la forme de résine ainsi que son plan de joint, nous posons

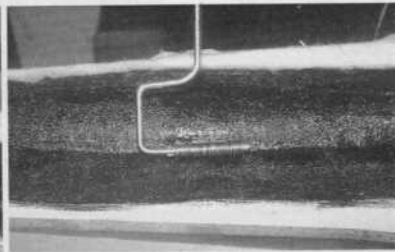
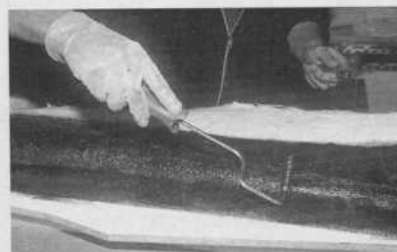


Les couches se succèdent sans perte de temps.

la première couche. La verranne absorbe beaucoup, il faut donc tamponner énergiquement toute la surface, jusqu'à ce que la forme soit bien épousée (sans bulle).

Débullage

Lorsque vous aurez obtenu un résultat correct, il vous faudra passer un coup de rouleau débulleur, celui-ci ayant pour rôle de chasser toutes les micro-bulles de gaz, soit en les poussant vers les



bords, soit en les faisant traverser le tissu. (Opération à répéter après chaque nouvelle couche de tissu). C'est donc ainsi que se succéderont 3 couches de verranne. Nous avons poursuivi les opérations de stratification avec trois couches de Mat de verre (200 g/m²) afin d'obtenir un moule résistant.

Dernière couche

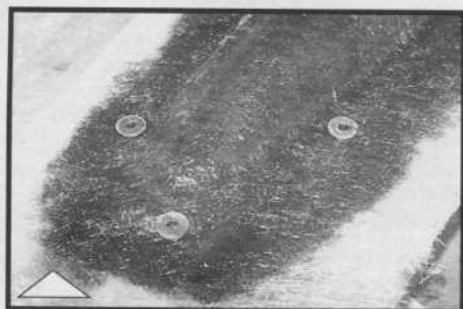
La dernière couche sera de nouveau de la verranne (200 g/m²) qui offre un meilleur état de surface que le Mat (On évite ainsi les échardes dans les doigts).

Avant de poser la dernière couche dite de finition, il faut prendre soin de disposer des rondelles ø 6 tout autour de la forme, espa-

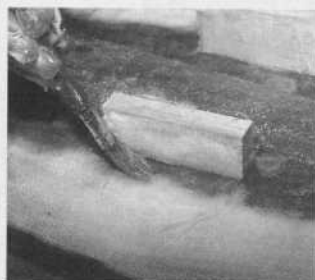
Il faut travailler rapidement. La résine est passée au pinceau, en tapotant la surface. L'excédent de tissu sur les bord est découpé et servira pour de petits renforts.



Il faut débuller avec soin entre chaque couches pour ne pas emprisonner d'air, ce qui causerait des points faibles.



Des rondelles sont disposées tous les 5 à 10 cm sur l'avant-dernière couche.



Des pieds sont collés sur la dernière couche. Le moule retourné sera plus stable.

cées d'une dizaine de centimètres. Elles serviront plus tard de repères ainsi que de renforts pour les boulons qui maintiendront le moule fermé. Elles resteront visible sous la couche de tissu et pourront facilement être percées.

On en profite alors pour coller quelques pieds de même hauteur qui seront bien utile pour travailler dans un moule stable lors des prochaines étapes.

Toutes ces opérations terminées, laissez faire la chimie. Nous avons utilisé, pour toutes ces couches de tissu, environ 1,8 kg de résine. Ce n'est qu'une bonne douzaine d'heures plus tard que nous viendrons inspecter le résultat.

1^{er} démoulage en douceur

Plus de douze heures se sont maintenant écoulées, il sera donc possible de désolidariser le demi-moule réalisé de son plan de joint (mélaminé). Bien sûr, vous respecterez les temps de séchages indiqués sur l'emballage des produits que vous avez utilisé, ainsi que la température ambiante qui peut accélérer ou ralentir le temps de polymérisation.



Démoulage. Si l'opération "cirage" a été effectuée correctement, tout se passe en douceur.



La Plastiline est éliminée avec soin.

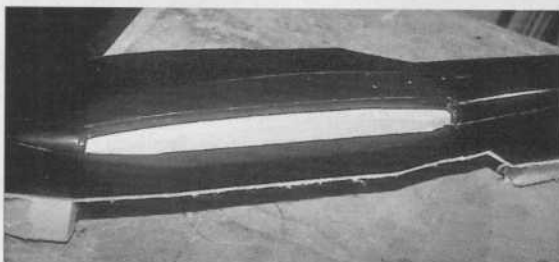


Dans tous les cas, le master doit rester dans son demi-moule. Une lame est donc glissée entre le demi-moule et le plan de joint puis on les sépare délicatement. Cette opération se fait très facilement. Avant d'attaquer la deuxième partie du moule, on élimine toute la Plastiline qui se trouve encore le long du plan de joint, ainsi que tout l'excédent de tissu autour de cette demi-coquille. Pour cette opération, la scie à chantourner est encore la bienvenue. Les contours étant maintenant définis, il ne reste qu'à poursuivre.

Seconde moitié, on recommence

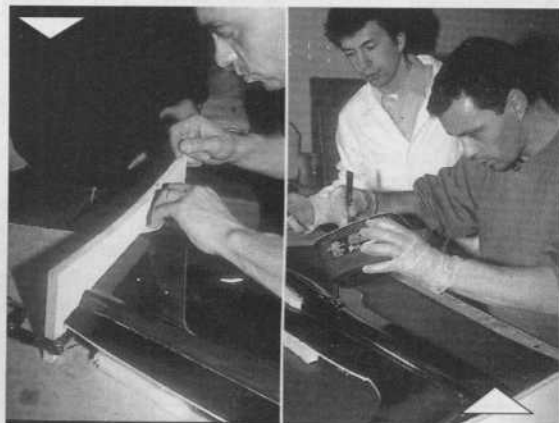
Pour cette deuxième partie du moulage, on commence comme lors de la première étape, c'est-à-dire que l'on bouche l'arrière de la dérive et l'ouverture de la verrière, puis on cire

On recommence à nouveau à superposer les couches de cire sur l'autre face.

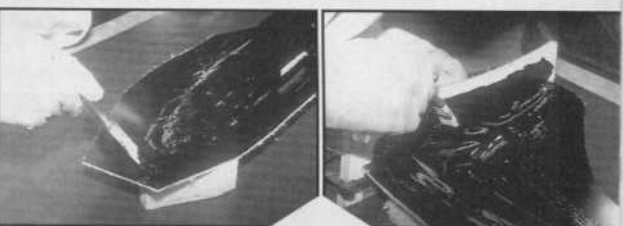


L'ouverture de la verrière est obstruée.

Fermeture de la dérive, sans oublier de reboucher le plan de joint avec la planche verticale.



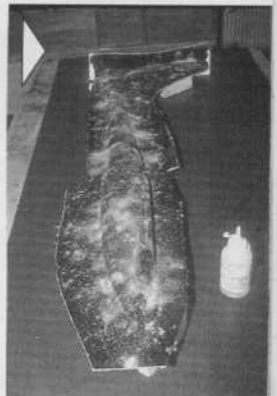
Le gel-coat est versé avec délicatesse.



Le gel-coat est étalé au pinceau.

La couche de "fibrette" a été déposée.

l'ensemble. J'insiste, mais soignez vraiment cette opération. Vous pouvez dès lors venir déposer le gel-coat. Lorsque celui-ci deviendra amoureux, déposer quelques pincées de fibres broyées (comme pour la première partie) et ainsi de suite. Respectez le même nombre de couche pour les deux côtés afin d'éviter les déformations. N'oubliez pas de remettre des pieds après la dernière couche, en prenant soin qu'ils ne se trouvent pas au même niveau que les rondelles placées sur





Renforts en mèche de verre dans tous les angles.



C'est reparti pour la stratification. Le même nombre de couche sera disposé sur chaque partie du moule.



l'autre partie. Il est inutile d'emprisonner des rondelles de ce côté. La stratification de cette deuxième coque étant finie, laissez reposer l'ensemble une petite semaine. C'est long, mais c'est tout de même plus prudent.

Au bout de quelques jours, vous pourrez percer à travers les rondelles pour placer les boulons de fermeture du moule. Cette opération doit être faite avant tout démoulage pour que les deux coquilles soient parfaitement alignées.

Le démoulage



Les rondelles sont percées à travers les deux demi-moules, avant démoulage.



Des boulons et rondelles serviront à fermer le moule.



Démoulage ! Si tout c'est bien passé, vous obtenez un craquement sinistre mais bon signe.

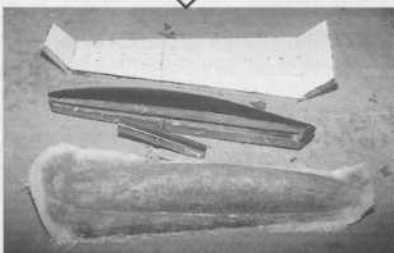
30 Looping



Ca y est. Le master sera ôté de l'autre demi-moule en tordant délicatement celui-ci.

Les contours seront repris à la scie de façon identique sur les deux demi-moules.

Pour démouler la verrière, une poignée improvisée est fixée sous le master.



Enfin arrive le moment tant attendu. Au bout d'une semaine, l'ensemble est bien sec. A l'aide d'une spatule, glissez délicatement entre les deux demi-coquilles, faites levier (délicatement) tantôt à droite, tantôt à gauche.

CRAC ! Pas de panique, ce bruit est tout à fait caractéristique d'un démoulage. D'ailleurs avant même d'avoir fait le tour complet du moule avec la spatule, il n'est pas rare que celui-ci se sépare en deux. Un vrai bonheur. Si le master est resté prisonnier dans l'une des demi-coques, il suffit d'exercer une légère torsion aux extrémités du demi-moule et celui-ci finira par se libérer.

Vous voilà désormais propriétaire d'un superbe moule. Il reste à percer au travers des rondelles pour plaquer le moule avec des écrous. Tous les contours seront repris à la scie pour avoir des bords francs. Un coup de papier de verre pour arrondir les angles sera le bienvenu, ça évite de s'éplucher les doigts. Les ouvertures au niveau de la verrière seront découpées avec beaucoup de soin.

En cas de bobos !

Si vous avez la désagréable surprise au démoulage de faire quelques éclats où si votre moule à quelques défauts (bulles ou rayures), ne le jetez pas à la poubelle. Avec un peu de mastic polyester et d'huile de coude, vous obtiendrez à nouveau un bel état de surface. N'oubliez pas de polir à nouveau le moule pour qu'il ait le même aspect brillant partout.

Vous savez tout pour faire le moule, maintenant. Rendez-vous la prochaine fois pour mouler un fuselage.

Là aussi, les bords seront repris.

Merci à la Société Polyplan pour son accueil et ses précieux conseils. On trouve chez ce spécialiste tous les matériaux composites nécessaires à la réalisation d'un moule comme celui qui vient d'être réalisé. Il existe également plein d'autres produits à découvrir, pas seulement adaptés pour la fabrication d'un moule ou d'un fuselage mais nous auront l'occasion d'en reparler.

Polyplan Composites
BP 77
108 Quai Bourgoin
91104 Corbeil-Essonnes Cedex
Tél : 01 64 96 02 70
Fax : 01 64 96 77 63



Le moule est terminé, il ne reste qu'à fabriquer les fuselages...

A suivre...