

Réparation d'un mat de FINN cassé

par Alain Michaud FRA 46

J'avais cet article sous le coude depuis des années. ... Les évènements et mon retrait de la classe l'avaient mis aux oubliettes ... Mais depuis, sollicité 2 fois par d'anciens copains, je pense que ces quelques éléments pourraient être utiles à ceux qui auraient la malchance de se trouver dans une telle situation et qui voudraient essayer par eux-mêmes une réparation.
A. Michaud ex FRA46 10/2024

Nos mats ont beau être très bien optimisés (triple ratio « jauge – performance – solidité »), ils restent néanmoins fragiles en regard des agressions qu'ils peuvent subir. On peut classer ces dernières en 3 catégories :

1. Choc violent (le plus souvent lors des empannages de bateaux proches)
2. Chavirage et retournement complet dans une zone de profondeur telle que le mat se plante dans le fond ou accroche un rochet
3. Survente très violente, erreur de manœuvre (départ à l'abattée, empannage brutal ...)

Dans le premier cas, il n'y a pas de rupture ou exceptionnellement, par contre, même si on n'en a pas conscience, des endommagements structurels sont toujours possibles et seront un point faible dans les autres circonstances. En effet, autant la fibre de carbone possède une résistance exceptionnelle à la traction, autant (et surtout pour les fibres « haut module ») elle pâtie d'une résistance très très faible en cisaillement.

Le deuxième cas de figure est le plus courant. La majorité des ruptures se produisent en partie haute, entre 0,5 et 2 m de la tête de mat. Dans cette zone, le profil du mat est très aplati, son inertie de section en latéral très faible, les épaisseurs de parois entre 0,4 et 2 mm avec souvent une couche extérieure d'UD très chatouilleuse en compression donc sujette au flambement local (flambement d'Euler) (voir article de 2006 sur « Comportement en sollicitations extrêmes et modes de rupture d'un mât »).

Dans la troisième catégorie les causes peuvent aboutir à des ruptures dans n'importe quelle zone, parfois au niveau de la ferrure de bôme, souvent en partie basse à la sortie de l'étambrai. Là, le mat est très costaud (heureusement !) pour encaisser les contraintes de traction / compression dues à un moment de flexion important et aux efforts transverses d'appui de plusieurs centaines de daN (kg force) ... mais pourtant, faut bien se rendre à l'évidence, « ça peut casser » !

Technologie de fabrication et haut niveau de qualité des matériaux (fibre de carbone et résine) : nos mats coûtent chers, très chers pour leurs 8 petits kg. Alors face à la catastrophe, il ne faut pas hésiter : soignons-le et sauvons-le si c'est possible. Un retour chez le fabricant est envisageable, souvent bien compliqué et autant Wilke que HIT, ils ne sont pas chauds chauds pour une telle manip ... et ils sont chers chers !

Revenons sur nos trois cas de figure :

Cas 3 : là, plus c'est bas plus c'est compliqué. La structuration est complexe, massive, et passer au bloc opératoire pour rabouter les deux morceaux devient une trop grosse aventure pour un résultat qui ne sera pas garanti en regard des contraintes subies dans cette zone.

Cas 1 : Il ne faut pas hésiter ! Expertise fine de la zone agressée, diagnostic (décollement local d'une bande d'UD, petites fissures en surface, trace de choc avec écrasement local des couches superficielles,). Selon le cas, on recolte (injection avec une seringue de résine et mise en compression lors de la polymérisation, mise en place d'un « emplâtre » en bi-biais ou en 0/90° de faible grammage pour stabiliser une couche d'UD, etc etc...).

Cas 2 : c'est le cas de rupture le plus fréquent, celui dont la réparation va être traitée ici.

Je crois l'avoir déjà évoqué, mon passé de « bricoleur bateau » date de l'époque où, étudiant à l'ENSAM, j'ai fait connaissance de Pierre Mondétéguy, un de mes prof ... Pierre était alors en équipe de France, génial bricoleur perfectionniste, à l'origine avec Serge Maury de la conception du superbe FINN Lanaverre des années 70, pilote de bien des projets avec ses élèves (entre autres, une fab en série de planches à voile en coque composite tri-couche, très rigides et très légères). Bref, une amitié s'est tout de suite établie, amitié qui n'a jamais été prise en défaut et que seule, la fin tragique de Pierrot a rangée dans le passé.

Nous avons donc, Pierre et moi, réfléchi au cahier des charges qui devait conditionner le travail de réparation d'un mat fortement endommagé ou cassé ... en fait, rien de compliqué, ça tient en une phrase :

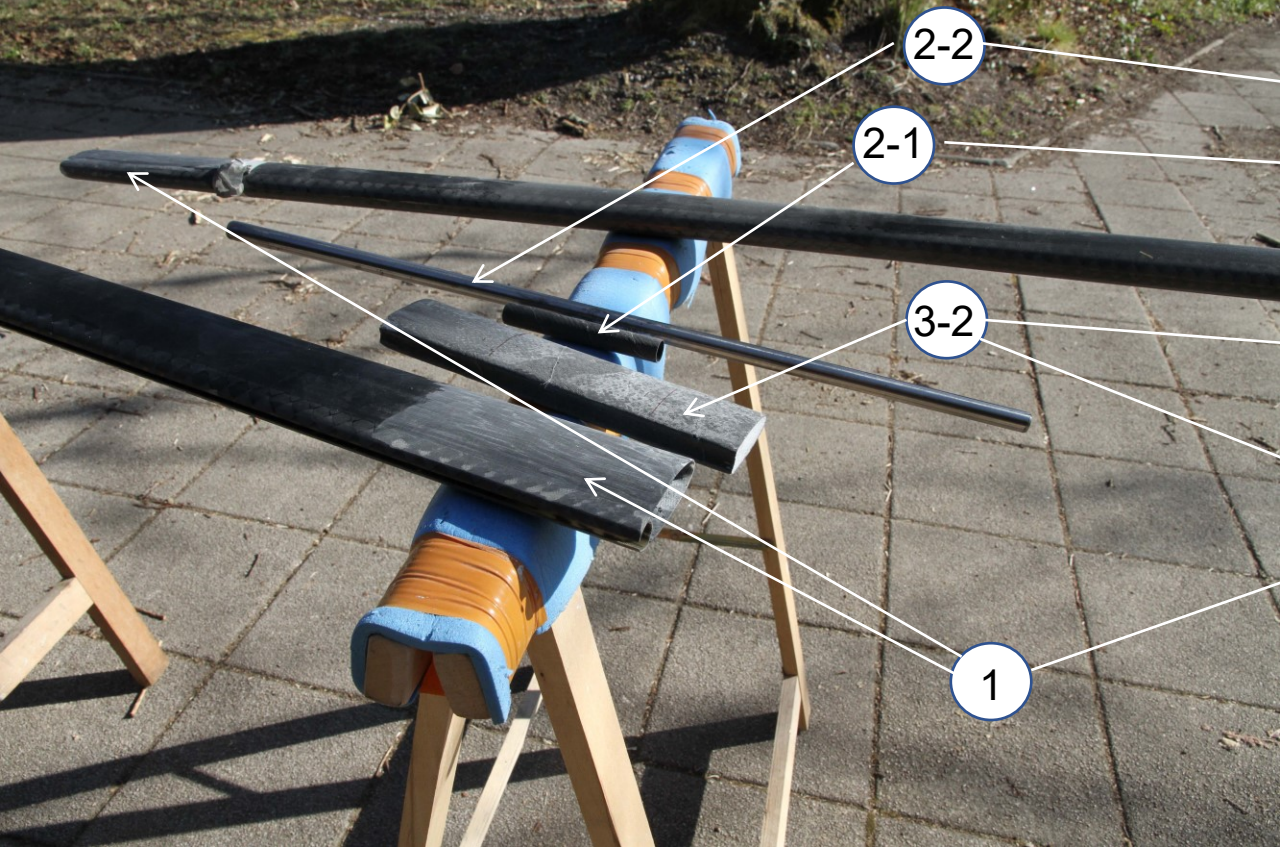
« il faut que la réparation n'affecte en rien les caractéristiques initiales du mat : masse, caractéristiques mécanique globales, caractéristiques mécaniques locales »

La conclusion coule de source : il faut reconstruire la structure à l'identique de ce qu'elle était, couche à couche, en conservant la nature des constituants, la configuration des couches : grammage, orientation des fibres, nature des fibres (Haute Résistance ou Haut Module).

Ces considérations n'ont rien d'anodin : souvent, la longueur à reconstituer peut atteindre 40 à 50 cm, ce à quoi il faut ajouter au moins 15 cm de chaque côté pour une liaison « en biseau » avec les parties saines. On comprend bien alors l'impact qu'aurait une telle réparation si tout était fait « n'importe comment » !

Au total, avec puis sans Pierre, 6 mats, 4 HIT et 2 Wilke ont été réparés ... tous ont donné satisfaction. Testés, ils étaient identiques en tout point à l'origine. Deux ont cassé par la suite, mais pas au niveau de la réparation !

AU BOULOT !



Exemple de réalisation d'un noyau polystyrène par découpe au fil chaud guidé sur 2 gabarits en contreplaqué (ici avant la pose d'une couche de tissus carbone destinée à renforcer le noyau)

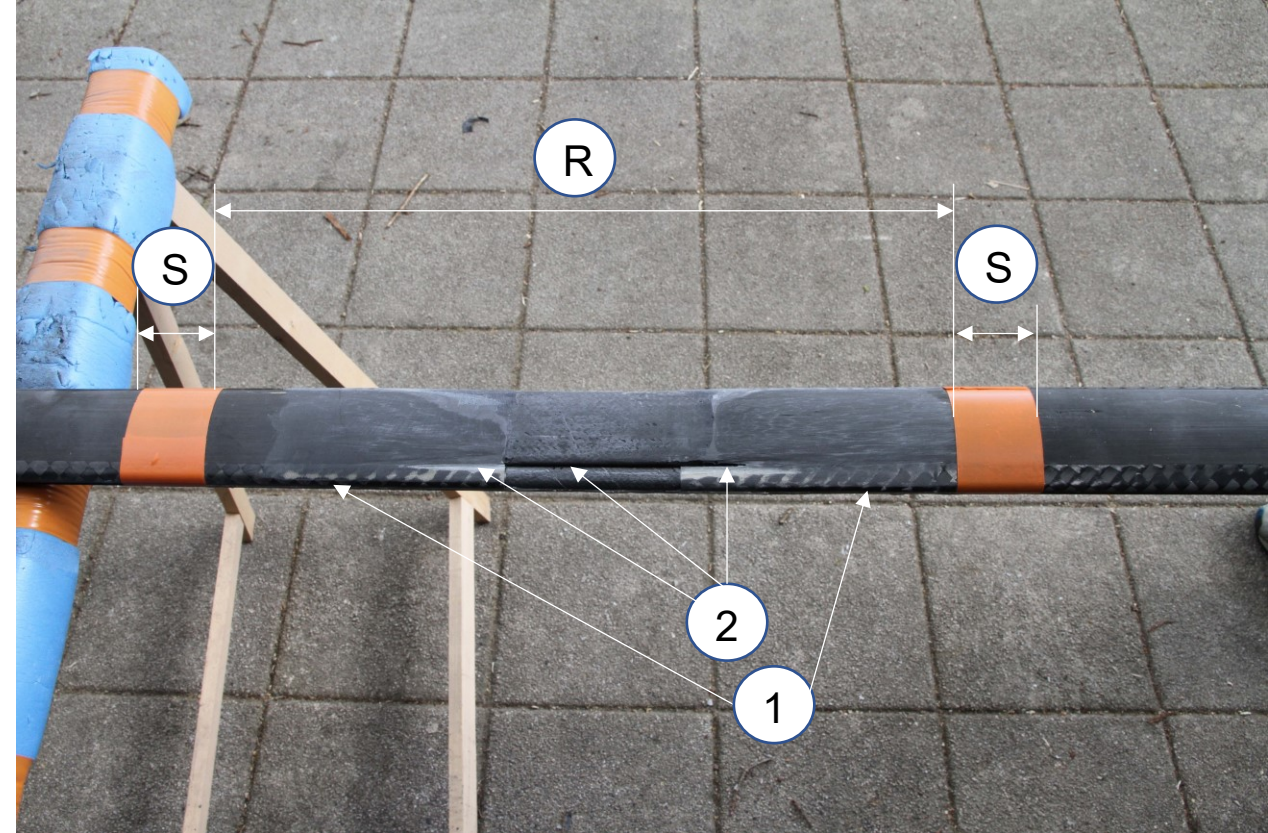
Préparation et fabrication des constituants de la réparation
Ici, 2 mats sont en réparation, HIT noir, Wilke blanc.

1. les zones affectées par la rupture sont impitoyablement supprimées. On détermine la longueur manquante à reconstruire L.
2. les extrémités (1) des deux morceaux à rabouter sont affinées en biseau sur 150 mm environ. L'intérieur est soigneusement abrasé sur 100 mm environ.
3. On fabrique le tube de ralingue (2-1) en tresse carbone tubulaire, moulée sur un rod acier rectifié et poli (2-2) du diamètre inter de la ralingue (pour HIT (mat noir) 12,5 mm Wilke (mat blanc) 9,5 mm). On le coupe à la longueur exacte L.
4. On fabrique le manchon de raccordement (3): noyau polystyrène coupé au fil chaud à partir de deux gabarits guides en contreplaqué (profil inter du mat moins 1 mm), recouvert d'une couche de tresse tubulaire carbone, polymérisé sous vide (0,5 bar). On le coupe à L+150 mm

Alignement, assemblage et collage mandrin et ralingue
(ici sur le mat HIT)



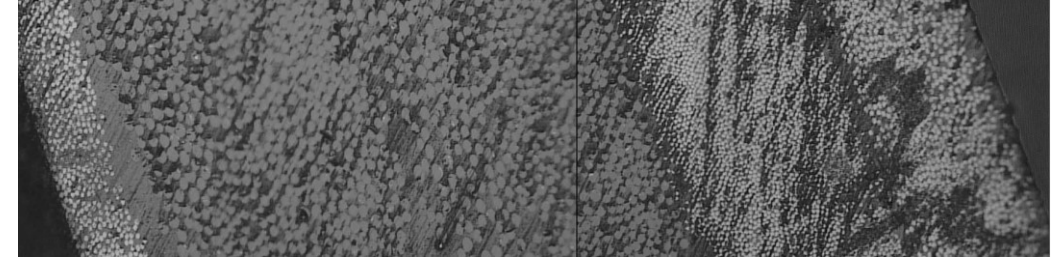
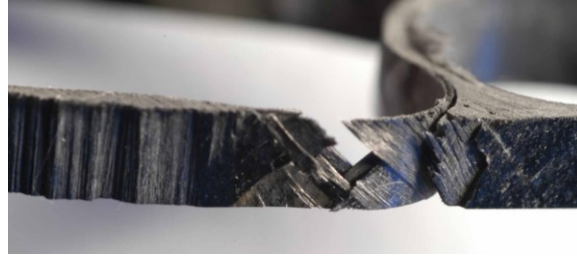
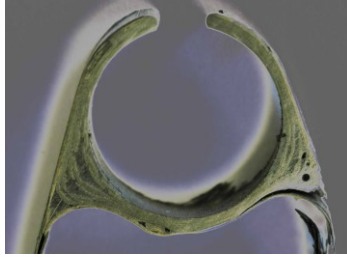
1. On enfile le tube de ralingue sur le rod acier. Le rod acier fait 400mm de long. Il est emmanché sans jeu dans la gorge de ralingue de chaque côté et constitue un premier moyen d'alignement parfait des 2 parties du mat. Le tube de ralingue coupé à la longueur L sert d'entretoise.
2. Enduction inter/exter des deux parties de mat et des extrémités du manchon de raccordement (résine époxy de collage, voir nomenclature). Nb: la résine de collage va bien sûr être plus ou moins refoulée ... mais peu importe, le manchon n'est pas là dans un but structurel. Il sert : à la solidarisation des 2 parties et par la suite, de support à la stratification des couches de réparation. On rapproche les deux parties du mat jusqu'à être en butée sur le tube de ralingue rapporté.
3. On peaufine l'alignement et on presse modérément les flancs des deux parties de mat contre le mandrin pour améliorer le contact de collage. (planchette et serre-joints)
4. Attendre polymérisation du collage (entre 10 mn et 1 heure selon la résine de collage choisie).



Préparation à la stratification de la réparation

1. La fente de la gorge de ralingue située dans la zone de réparation est bouchée avec de la cire (1)
2. 2 bandes d'adhésif délimiteront la zone de réparation. Les positionner avec beaucoup de soin, noter avec précision les côtes R et S, vous comprendrez pourquoi diapo 8 !!! (elles ne seront recouvertes que partiellement par les renforts carbone lors de l'étape de stratification).
3. Garnissage de l'espace entre le tube de ralingue et le mandrin (2) avec de la mèche carbone HR / résine époxy LY 5052 (non photographié). Ne pas hésiter à aller au-delà du profil, on poncera par la suite pour avoir un profil sans vallonement. Laisser polymériser.

Préparation à la stratification de la réparation



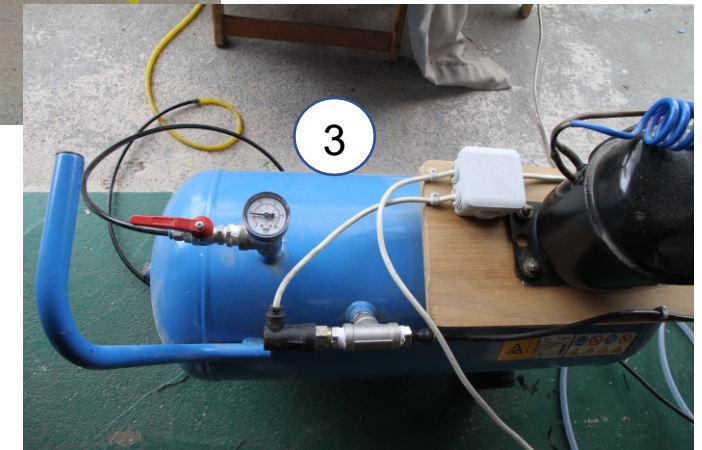
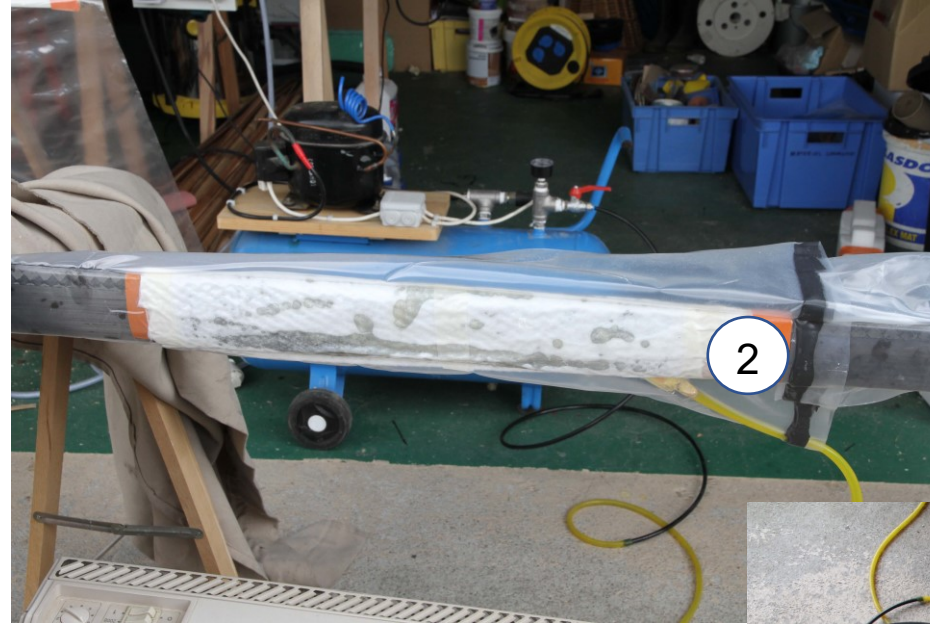
Quelques photos et macro permettant de définir la constitution des couches de stratification (mat HIT)

1. Voici à gauche comment est structuré un mat HIT à 1,5 m de la tête (voir précédent article). Nous allons du mieux que possible reproduire lors de la réparation la même répartition des nappes de carbone, leur orientation, leur constitution (UD, bi-axial +/- 45°, ...).
2. Les premières couches (bandes de +/-45° ou nappes d'UD) ne débordent que de 10 à 20 mm du manchon, juste pour prendre appui sur le début du biseau des 2 morceaux de mat.
3. Les couches suivantes seront de plus en plus longues au fur et à mesure qu'on monte sur le biseau
4. Le grammage utilisé pour l'UD et pour le +/- 45° est du 200gr/m² soit environ 0,2 mm par couche (en polymérisation sous vide !)

1. Pour les tissus on utilisera un carbone HR (moyen en module mais haute résistance) pour privilégier la résistance (T700 par exemple). Pour les UD on préférera du Haut Module pour privilégier le module (la raideur) type M40J par exemple. La résine utilisée est la classique LY 5052. L'UD utilisé est soit de la mèche plate en bobine soit du ruban de 100 mm recoupé en largeur (ici il s'agit de mèches plates de 5mm en M40J pré-imprégnées et posées côte à côte).
2. Par la suite, on ne détaillera pas point par point en photo le processus, ... quelque peu lassant !



Phase de polymérisation



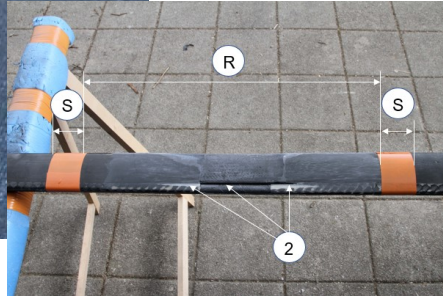
1. Une fois la pose des couches de bi-axial et d'UD terminée, on enroule l'ensemble avec le tissu de délaminage (en ruban de 50 mm de largeur), on pose un film micro-perforé et enfin le feutre de drainage (photo 1)
2. La totalité du mat est mis dans un tube de polyane (photo 2) (ici en deux parties de diamètres différents, raboutées et étanchées avec du joint en cordon). Le tuyau d'aspiration est mis en place et son passage étanché.
3. On lance la pompe à vide et on régule à $-700 / 800\text{mbar}$ (ne pas descendre plus en vide, ça « essore » trop le stratifié ...). La pompe à vide est bricolée à partir d'un réservoir de compresseur et d'un groupe de vieux congélateur. La régulation est obtenue grâce à un manocontact électrique réglable (photo 3).
4. Un radiateur est placé sous l'ensemble. On peut confiner la zone à polymériser dans un caisson en mousse de polyuréthane ou simplement la coiffer d'une couverture. La température monte facilement à $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, ce n'est bien sûr pas le top mais ça suffit pour une polymérisation correcte en 24 h.

Phase de finition de la réparation



1

Rappel diapo 5



2



3

1. La polymérisation terminée, on retire feutre et ruban de tissu de délaminage pour mettre à vif la surface.
2. Après traçage, on coupe délicatement avec un disque à tronçonner Dremel les parties des extrémités du stratifié à la limite du ruban adhésif mis en place lors de la phase préparatoire (côte R, photo rappel de la diapo 5) (en profondeur jusqu'à ce qu'apparaisse le bord du ruban adhésif). Un coup de disque à tronçonner le long de la gorge de ralingue, on écarte avec un tournevis pour décoller l'adhésif et on évacue le morceau (photo (1)).
3. On ponce et on lisse éventuellement avec un mastic époxy les défauts de surface. On finit par un ponçage de façon à bien niveler la surface (2). Puis on procède comme diapo 5 point 2 : on délimite la zone stratifiée à conserver avec deux bandes d'adhésif dont on repère soigneusement la position (côtes R' et S)
4. On va mettre une couche finale de tissu 200 g/m², orienté 0 – 90° autour de la section réparée mais en utilisant une résine résistante aux UV. Cette couche a surtout pour but de stabiliser les UD externes afin de se prémunir d'un éventuel flambement local en compression. L'utilisation d'une époxy « anti UV » évite le jaunissement disgracieux souvent constaté sur certaines réparations.
5. Comme il n'y a qu'une couche de tissu, on peut simplifier le processus : simplement un tissu à délaminer en bande enroulée tout autour. Et autre simplification, on peut s'abstenir d'une polymérisation sous vide. J'opte donc pour une compression à l'aide d'une bande élastique enroulée tout autour (taillée dans une chambre à air de voiture). (3)

Phase de finition de la réparation, suite ...



1



2



3



1. La polymérisation terminée, on retire la bande caoutchouc et le ruban de tissu à délaminer (photos 1 et 2).
2. Après traçage en fonction des côtes R' et S, idem diapo 8, on coupe délicatement avec un disque Dremel les parties des extrémités du stratifié débordant sur le ruban adhésif mis en place lors de la phase préparatoire, diapo 8 point 3 (photo 3). Un coup de disque le long de la zone de la gorge de ralingue, on écarte avec un tournevis pour décoller l'adhésif et on évacue le morceau (idem précédemment). Les photo 3 montre cette phase sur 2 mats différents.
3. C'est presque terminé : on ouvre la gorge de ralingue à la scie disque Dremel et on chasse le rod acier, pour les finitions (ponçage très léger et polissage au 1000 puis 2000), et pour éliminer le manchon en polystyrène, mat incliné tête en haut on verse 1 litre d'acétone à l'intérieur et ça fond comme un sucre ! ... à vous de jouer !!!

Bilan : travail étalé sur 3 à 4 jours, un peu de matos, 150 euros de fournitures environ ... et au final, le même mât qu'avant !

Matériaux utilisés :

1. Tresse carbone tubulaire à 45° : Ø 8 pour les tubes de ralingue Ø 50 pour les manchons de raccordement
2. Tissu carbone (taffetas) HR (haute résistance) en 200g/m² réf : 43199 SV
3. Complexe carbone biaxial HR (haute résistance) 0-90° en T700 de 200g/m² réf : NLT00HR
4. Complexe carbone biaxial HR (haute résistance) +/- 45° en T700 de 200g/m² réf : NBB00 HR
5. Ruban UD carbone en bobine largeur 100 mm et mèche plate en 5 mm en carbone haut module M40J
6. Résine époxy de collage : Araldite 2031 (ou 2011 (la AW106, bien connue) ou 2012)
7. Résine époxy de stratification : Araldite LY5052/Aradur 5052
8. Résine époxy pour stratification (ou pour un glaçage) de la couche de finition, résistante aux UV : RSF816

9. Ruban de délaminage de 50 mm de large
10. Film microperforé
11. Feutre de drainage
12. Tube de polyane en rouleau
13. Cordon d'étanchéité pour poche à vide
14. Mousse polystyrène haute densité

15. Acétone
16. Alcool à 95% (ou 99% (Rectapur de chez Prolabo))

Fournisseurs :

Composite Distribution : résines, tissus et complexes carbone (Béziers)
Gâches Chimie : solvants, résines,, (Bègles ou Toulouse)
POLYPLAN Composites : un peu de tout en dépannage ...