

# HAUBANS TEXTILE

Un gréement sans métal ! Serait-on revenu à l'âge de pierre ? Non pas. Les fibres modernes offrent des performances telles que l'on en fait des mâts ou des haubans. Ces "ficelles" raides comme l'acier, d'une formidable légèreté sont un rêve pour nos voiliers de compétition où chaque fraction de kilo gagnée est comme une cerise sur le gâteau.

**LE MÂT DU BATEAU DE MONSIEUR TOUT LE MONDE EST TENU AU PONT PAR DES HAUBANS EN MONOTORON,** fils d'acier inox toronnés. Pour des raisons de raideur, on lui préfère depuis une vingtaine d'années le "rod" ou barre d'acier sur les voiliers de compétition. Le rod, dont le module d'élasticité (module de Young) est bien supérieur à celui du monotoron, ne s'allonge quasiment pas sous forte charge, et permet ainsi de mieux contrôler la tenue du mât. Il est par contre relativement lourd, ce qui représente un inconvénient certain

Il devenait naturel d'appliquer l'emploi des fibres haut module

puisque le poids dans la mâture, surtout dans les hauts, reste un obstacle à la performance. Avec

l'avènement des mâts en carbone, il devenait naturel d'appliquer l'emploi des fibres haut module à la composition du gréement. On a commencé prudemment par l'usage de ces fibres pour le gréement cou-

rant et notamment les drisses. A cet égard, les années 1980-90 ont été le théâtre d'une véritable révolution avec la commercialisation de cordages à très faible allongement qui ont opportunément remplacé les drisses en inox souple ou galva. Ce fut l'avènement du Kevlar, du Spectra, du Vectran, etc, ces fibres aussi fortes que l'acier ou presque, si fines et si légères au regard des efforts imposés. Tout naturellement, le textile est apparu sur les gréements dormants, d'abord en longitudinal pour les périphériques (pataras, bastaques...) puis carrément en latéral, à commencer par les inters pour finir avec le haubanage principal. Aujourd'hui, les voiliers de course océanique et même les bateaux du Vendée Globe ont un gréement dormant intégralement en "ficelle". Voir ces immenses tiges en carbone tenues par des "cordes" reste très impressionnant, mais c'est ainsi et ça fonctionne.

## EPI, le pionnier

Il y a plus de 15 ans, dans ce même magazine, EPI, une société française, vantait les mérites de ses haubans en Kevlar (marque déposée par

Du Pont de Nemours) un produit de la famille des aramides. "La bastaque en Kevlar équipant le mât-aile du maxi-cata Royale est d'un poids quatre fois inférieur à celui d'un câble toronné. Un gréement complet de half tonner en aramide (nom générique du Kevlar) s'avère trois fois moins lourd que le même équipement en acier..." vantait alors le fabricant. La mode était lancée : tout le poids gagné dans le haubanage vous permettait, à couple de redressement équivalent, d'en gagner bien plus dans la quille ou d'augmenter la voilure en proportion. A l'époque des bateaux Open, l'argument valait son pesant de performances. La force d'EPI fut d'occuper le marché grandissant de l'industrie, ce qui lui permit d'accompagner l'évolution du gréement composite avec un produit élaboré, sûr et fiable. Encore aujourd'hui, Navtec, grand fournisseur devant l'éternel de gréements de tous types, tient le haut du pavé textile avec un dormant constitué de câbles en Kevlar extrudé HMPE. Le processus de fabrication consiste à rassembler sous vide des mèches composées de fibres parallèles pré-assemblées pour obtenir un jonc. Afin de resserrer, solidariser et protéger ces fibres, le jonc passe dans un mandrin où du polyéthylène (haute densité) à chaud est injecté, constituant ainsi par extrusion le gainage extérieur du câble. Cette gaine de protection achève son cycle de production dans un long couloir d'eau froide pour sécher et obtenir la dureté voulue. L'extrusion appliquée à un câble atteint plusieurs centaines voire des milliers de mètres d'un seul

tenant. Dans ses ateliers, Navtec assemble le câble avec ses terminaisons de type ancrage bi-conique. Une pièce qui peut se comparer à la terminaison à montage manuel ("swageless") utilisée pour les câbles toronnés, le fameux embout Norseman. On introduit le Kevlar débarrassé de sa gaine de protection en écartant les fibres pour épouser la forme conique de l'olive. Les fibres sont ensuite comprimées entre deux pièces coniques, et plus on tire sur le câble plus les fibres se coincent. CQFD. Avant d'être livré, chaque câble est mis sous charge et testé à hauteur de 50% de sa propre charge de rupture dans un banc de traction capable d'accueillir les câbles les plus longs (56 m) et les plus costauds (120 tonnes). Ce processus d'assemblage unique garantit

Fiabilité maximale garantie

aux câbles ainsi fabriqués une fiabilité maximale. Dans l'ordre des choses, le Kevlar est venu remplacer le câble monotoron en

acier, nettement plus léger, il offre aussi une raideur équivalente sous tension. D'entrée de jeu il convenait aux bastaques et aux galhaubans sur les multicoques. Christophe Haris, entré chez Navtec voilà 10 ans pour développer le secteur du gréement courant, aujourd'hui responsable du gréement dormant en textile : "Le Kevlar 49 est le gros de notre production (+ de 1000 câbles par an) destinée notamment au gréement latéral des multicoques de croisière. Sur un 50/55 pieds, on économise 110/130 kg par rapport à un latéral monotoron." C'est comme en automobile,

un produit expérimenté en compétition est petit à petit adapté à la voiture de Monsieur tout le monde. Les premiers câbles en Kevlar datent de 1983, se souvient Christophe, et apparemment ça vieillit bien. "Très récemment, un propriétaire a changé son gréement latéral EPI produit en 1985." Le prix du Kevlar est deux fois supérieur à celui du monotoron. L'usage du Kevlar convient tout particulièrement aux gréements de catas de croisière qui n'ont pas de barres de flèche. Un élément unique relie l'espar au pont : pas de discontinuité, donc pas d'ancrage métallique intermédiaire, donc pas de surcharge pondérale... Si le Kevlar gainé affiche un diamètre légèrement supérieur au métal, l'augmentation de traînée n'a guère d'incidence – surtout sur un bateau de croisière – au regard du gain de poids.

## L'arrivée du PBO

Plus le gréement est raide en latéral, meilleur est son rendement instantané. Moins le mât "amortit", moins il y a de pertes et plus le moteur mâtovoiles est efficace. La compétition aidant, il fallut donc employer des fibres à plus haut module pour associer à la légèreté du textile la raideur de la barre d'acier. Ce fut le PBO choisi par Navtec. Christophe Haris : "Comparé au monotoron, le rod apporte plus de raideur, plus de finesse et aussi un petit mieux en poids. Sur un bateau de course généralement équipé en rod, le Kevlar ne pouvait s'y substituer au niveau du latéral. Il a fallu l'arrivée du PBO (polyphénylène-2,6-bezobisoxazole)

D1 et V1 Navtec tenus à des ridoirs (PRB).

pour détrôner le rod. On est équipé aujourd'hui pour remplacer l'un par l'autre, pièce pour pièce, notamment grâce à des terminaisons interchangeables." Le gain de poids d'un gréement en PBO est énorme, de l'ordre de 65 à 70% pour un ratio rupture/allongement identique à celui d'un rod, mais il est difficile de comparer les deux familles de gréement. Pour un allongement strictement identique, le PBO va fournir une charge de rupture

## LE PBO EN TÊTE DES HAUTS MODULES

Pour jauger les câbles composites, on compare leur raideur : produit du module d'élasticité (ou module de Young) par la section de la

fibre. Le module de Young est exprimé en GPA (Giga Pascal) ou en decanewton/mm<sup>2</sup>. Les câbles en Vectran et en dyneema ont un module d'élas-

ticité proche du Kevlar 29, soit un peu moins de 8000 decanewtons/mm<sup>2</sup>. Les câbles en Kevlar 49 ou Twaron 1050 (autre aramide),

employés pour les câbles à fils parallèles Navtec, ont un module avoisinant les 12 000 decanewtons/mm<sup>2</sup>. Avec le câble PBO, on double la mise

pour arriver à 24 000 decanewtons/mm<sup>2</sup>. Comme quoi, entre le dyneema et le PBO : "y a pas photo".

Un hauban PBO Future Fibres et un transfilage en Vectran



Photo : Future Fibres

Des terminaisons en boucles Future Fibres au passage des barres de flèche.

entre 50 et 60% supérieure à celle du rod, ce qui est là encore considérable. "Prenons un rod "dash 40" (ou - 40 : une charge de rupture de 40 000 pounds, environ 18 t).

Avec un PBO d'allongement strictement identique, on se trouve avec une charge de 27 tonnes en rupture... Au moment d'échantillonner le gréement dormant, il faut

donc composer avec ce subtil rapport ténacité/élasticité qui différencie le rod du PBO" explique Christophe. Les aciers ont une limite élastique à partir de laquelle les courbes d'allongement se déforment exagérément pour finir par une rupture alors que la plupart des fibres composites n'ont pas de limite élastique. Leur allongement va jusqu'à la rupture selon une courbe quasi-linéaire. C'est là tout l'intérêt des fibres à haut module.

### Plus fort, plus léger, plus fin

Aujourd'hui, alors que l'usage du PBO se généralise, on conçoit des gréements spécifiques. Ainsi, les nouveaux mâts identiques des deux 60 pieds du Vendée Globe, VMI et PRB, sont passés à deux étages de barres de flèche au lieu de trois précédemment. "Plus exactement, insiste Christophe, les ingénieurs ont dessiné un 2 étages et demi. Un artifice qui permet de profiter encore plus du PBO dans la mesure où on a intérêt à diminuer le nombre de terminaisons pénalisantes en poids et ce faisant celui des barres de flèche." Le PBO est produit par une seule et unique firme japonaise, Toyobo : un consortium chimique qui fabrique de la fibre hi-tech. Outre ses qualités de résistance à la rupture et à l'élongation, le PBO supporte de fortes compressions. Le procédé d'extrusion des câbles en PBO, réalisé en partenariat avec la société Lapp-Muller, est globalement identique à celui employé pour les câbles

Kevlar, à l'exception du revêtement injecté en polyuréthane. Par contre, les terminaisons utilisées par Navtec ont fait l'objet d'un développement très poussé. "C'est notre fonds de commerce" commente notre interlocuteur qui ne tient pas à s'étendre sur les détails, mais qui consent à nous en expliquer la complexité. "A diamètre équivalent, un jonc de PBO apporte près de 80% de ténacité en plus que le Kevlar. Donc, dans le même volume d'ancrage, dans lequel on faisait tenir les 12 tonnes à la rupture d'un Kevlar, il faut faire tenir les 21 tonnes à la rupture d'un PBO." Comprenez que le système d'ancrage du PBO bénéficie de subtilités pour assurer une parfaite tenue malgré la finesse du câble et son immense ténacité. "Le cône obéit à des données plus précises, l'ingénierie de la terminaison est à tolérance minima, les pièces coniques sont calculées au demi dixième de degré..." Ce qui n'empêche que nous restions dans des cadences d'assemblage très rapides car il s'agit d'industrie. La fibre PBO est protégée efficacement et durablement des UV et de la lumière (par

### UN PRIX "TRÈS HAUT MODULE"

"Pour faire simple, on peut dire que le gréement dormant PBO est trois fois moins lourd que le rod et trois fois plus cher", indique le distributeur de Future Fibres en France. Mais quand on vous dit que le poids total d'un gréement dormant en PBO d'un 60 pieds atteint à peine les 45 kg, on se prend à rêver au Père Noël.

une gaine PU sombre, même durant la phase de fabrication). La courbe de dégradation du PBO à la lumière justifie ces précautions. On ne plaisante pas non plus avec l'étanchéité : c'est le pourquoi de la gaine thermorétractable et autocollante au niveau des liaisons câble/terminaison. Terminaisons réalisées très souvent en titane, car on ne va pas marier du PBO avec de l'inox, ce serait indécemment. Arrivé à ce degré d'abondance, on ne compte plus. Sachez quand même que sur un gréement à trois étages, le seul prix des terminaisons en titane est quasi-identique à celui du câble PBO... Il y a certes l'alternative de l'embout en alu série 6000 anodisé utilisé pour le Kevlar, mais ne serait-ce pas là aussi une faute de goût ?

### Le gréement par enroulement de filaments

Pour les accros de la légèreté et du produit custom, il existe une autre technique plus artisanale pour assembler des filaments entre deux cosses : la bonne vieille méthode dite "du clou à clou" qui consiste à enrouler un fil en faisant des va-et-vient d'une pointe à l'autre. De cette façon, n'importe quel artisan adroit de ses mains peut vous confectonner un câble composite dans le matériau de votre choix. Le pionnier en ce domaine fut le bon Cédric Chauveau, alias "Chien Noir" de l'île de Groix. Il a démarré avec du Vectran, fourni par Lancelin, qu'il enroulait patiemment pour constituer des éléments de gréement

dormant (souvenez-vous du Sceta de Christophe Auguin), puis l'intégralité du haubannage latéral du bateau de Josh Hall, premier voilier gréé de la sorte, à notre connaissance, qui courtur Around Alone en 1998. Cédric avait pour associé Vincent Le Roux, gréeur comme lui, et amoureux du bel ouvrage. Vincent décida un jour de voler de ses propres ailes, puis il fut séduit par la technique employée par Tom Hutchinson, un confrère britannique qui avait conçu une savante machine fonctionnant par enroulement de fils unidirectionnels. C'était l'arrivée, à la fin des années 1990, d'une technique industrielle dans un domaine jusqu'alors artisanal. La difficulté avec ces fils microscopiques mais d'une incroyable ténacité est, on l'a vu, d'y greffer une terminaison. Le fait de l'enrouler autour d'une cosse, ou autre embout à œil, paraît plus séduisant par sa simplicité que le système à ancrage bi-conique de Navtec. Pourtant, le seul entassement de fils dans le virage de la cosse crée une surpression, source de perte de résistance et... de fragilité. Il y a une façon d'aligner les fils que seule une machine peut diriger et répéter à l'envi. "Une autre difficulté avec la méthode manuelle est d'obtenir l'allongement voulu", souligne Vincent désormais dirigeant de sa petite entreprise lorientaise appelée Blew Stoub - en français "La tignasse", comme celle, brune, qui coiffe son visage. Il représente donc en France les produits Future Fibres, made in Southampton en Grande-Bretagne par Hutchinson. Des joncs de



Le gréement d'Ecover intégralement en composite.

Photo : P. Carpentier

### COMPORTEMENTS ET CARACTÉRISTIQUES COMPARÉS ENTRE DIVERS CÂBLES (SOURCE NAVTEC)

RATIO ALLONGEMENT/RUPTURE EQUIVALENT				CHARGE de RUPTURE EQUIVALENTE				ALLONGEMENT STRICTEMENT EQUIVALENT						
	Allongement 1mt sous 1T	Rupture Kg	Poids au mt	Diam mm		Allongement 1mt sous 1T	Rupture Kg	Poids au mt	Diam mm		Allongement 1mt sous 1T	Rupture Kg	Poids au mt	Diam mm
PBO 21T	6,19mm	21000 Kg	176 gr	15mm	PBO 21T	6,19mm	21000 Kg	176 gr	15mm	PBO 21T	6,19mm	21000 Kg	176 gr	15mm
KEVLAR 25T	5,90mm	25000 Kg	359 gr	22mm	KEVLAR 20T	7,57mm	20000 Kg	271 gr	19mm	KEVLAR 20T	6,19mm	24000 Kg	345 gr	21,2mm
MONO 16mm	4,60mm	18560 Kg	1250 gr	16mm	MONO 19mm	3,19mm	21620 Kg	1760 gr	19mm	MONO 19mm	6,19mm	13775 Kg	928 gr	13,6mm
ROD-40	4,57mm	17200 Kg	996 gr	12,7mm	ROD-48	3,62mm	21800 Kg	1735 gr	14,3mm	ROD-48	6,19mm	14054 Kg	786 gr	11,5mm



USA: +1 (203) 458-3163 • UK: +44 (0) 23-92-485777 • FRANCE: +33 (0) 4-93-90-24-50

www.navtec.net

**NAVTEC**  
Rigging Solutions™

## LA TRESSE A DU BON

Vincent Le Roux qui représente Future Fibres produit ses propres câbles composites. Il est un partisan de la tresse "pas si élastique qu'on le dit", nous précise-t-il, preuve à l'appui. Il fait ainsi des bastaques, des étais, des guindants de gennaker et aussi du latéral pour les petites et moyennes unités

multicoques. L'avantage est financier. Il emploie volontiers du Vectran gainé de dyneema ou Kevlar pour la protection, moins cher et plus simple à mettre en œuvre que le PBO et sa gaine thermorétractable. Et de rappeler que si le PBO occupe la tête du hit-parade des fibres avec un module de Young à 290, le Vectran

affiche un honnête 110, rivalisant avec le 130 d'un monoton classique, toutefois bien inférieur au fil d'acier à 198. L'autre avantage de la tresse indique Vincent est sa capacité à absorber les tensions alternées auxquelles sont soumis les gréements quand le bateau tape dans la mer, ainsi que les flexions répéti-

tives subies par les étais largables, les bastaques et les guindants. Par ailleurs, ça coûte moins cher que le Kevlar Navtec. "Il faut vulgariser le gréement dormant textile" insiste le gréeur lorientais, et pour joindre le geste à la parole, il indique qu'on peut s'équiper d'un étai largable en fibre pour 250

euros sur un bateau d'une dizaine de mètres. Vincent se fait l'apôtre de "la solution textile" et propose effectivement des articles divers (anneaux gainés, guindants de gennaker, étais largables, finitions cuir) tous de belle facture pour mieux équiper l'objet de votre passion.

PBO terminés par des cosses en alu ou titane encapsulées dans une gaine polyuréthane thermorétractable. "Future Fibres Composites permet de gagner 70% de poids par rapport à un gréement conventionnel (en rod)

70%  
de poids  
en moins !



sans perte de performance ni de sécurité", écrit le dirigeant de l'entreprise anglaise ayant aussi une filiale en Nouvelle-Zélande. Future Fibres a pris en quelques années sa part de marché du gréement textile en pénétrant à la fois l'Hexagone et le reste de la planète grâce à des haubans plus légers que la concurrence dans leur globalité et ce malgré un coût généralement supérieur.

"Nous avons fourni beaucoup de bateaux Open et aussi de plus grandes unités comme le 93 pieds Bols avec un gain en poids sur le gréement de 300 kg comparé à un devis en rod nitronic 50" ajoute Hutchinson. Sa liste de références est édifiante. Parmi les récents voiliers intégralement en Future Fibres, on compte Kingfisher, Ecover, Pindar, près de la moitié des multicoques ORMA et de grands racers comme le Wally 94 Magic Carpet, les nouveaux Maxi Z 86 Pyewacket, Morning Glory et... bien d'autres encore. La raison de ce succès, outre de chatouiller la position dominante de Navtec, tient à la technique d'enroulement ainsi qu'aux terminaisons de câbles (cosses radiales ou boucles) plus simples, plus compactes (quelques mm de moins en diamètre que Navtec) et plus légères. Pour exemple, un

embout à cosse Future Fibres en alu pèse 4 fois moins lourd qu'un embout à ancrage biconique en acier inox Navtec. La différence s'annule avec un embout en titane sur le Navtec, mais alors le prix grimpe au point d'égaliser celui du produit britannique. Précisons que l'établissement cannois s'est attelé à la tâche et nous promet de nouvelles terminaisons pour ce printemps. A dire vrai, le produit existe, on l'a vu au Salon de Paris, mais Navtec devait faire des tests de résistance et de durabilité pendant l'hiver avant de le commercialiser. Aux prix atteints par les mâts carbone et tout ce qu'il y a dessus, les fabricants de gréements sont invités à la plus grande prudence s'ils veulent conserver une assurance professionnelle. Sur le plan du vieillissement Navtec avait le droit d'âinesse, mais les Anglais de Future font savoir à

qui veut l'entendre, tests à l'appui, que le gréement de Kingfisher n'a perdu que 10% en charge de rupture au V1 (l'élément inférieur du galhauban) et à peine 20% au D1 (le bas-hauban)... après 40 000 milles de navigation : chiffres qui devraient rassurer le chaland. Dans le même registre mais sur un autre point, Mike Golding dont le bel Ecover est tout de PBO vêtu côté gréement, préfère lier son hauban au bateau par un transfilage plutôt qu'un ridoir, partant du principe que "ça coûte moins cher de changer un transfilage Vectran tous les 20 000 milles qu'un ridoir en acier tous les 40 000". Sans dire que c'est plus léger ! *Do not forget!* Légèreté et ténacité sont les deux mamelles de la performance.

Patrice Carpentier

**BLEW STOUB**  
Solutions textiles  
Gréement courant et dormant  
Yachting - Événementiel - Industrie

8 bis, rue de l'Industrie  
56100 Lorient  
tél/fax : 33 (0)2 97 37 95 33  
mobile : 33 (0)6 07 45 88 09  
e-mail : contact@blew-stoub.com  
www.blew-stoub.com

**futurefibres**  
Spécialistes  
des câbles unidirectionnels en fibre PBO  
et des gréements dormants textiles

Unit 4DD, Marchwood Industrial Park,  
Southampton, SO40 4PB UK  
t +44 (0)23 8066 1160  
f +44 (0)23 8066 1161  
e info@futurefibres.co.uk

30 Gaunt Street,  
Freemans Bay, Auckland, NZ  
t +64 (0)9 363 2000  
f +64 (0)9 363 2001  
w www.futurefibres.co.uk