

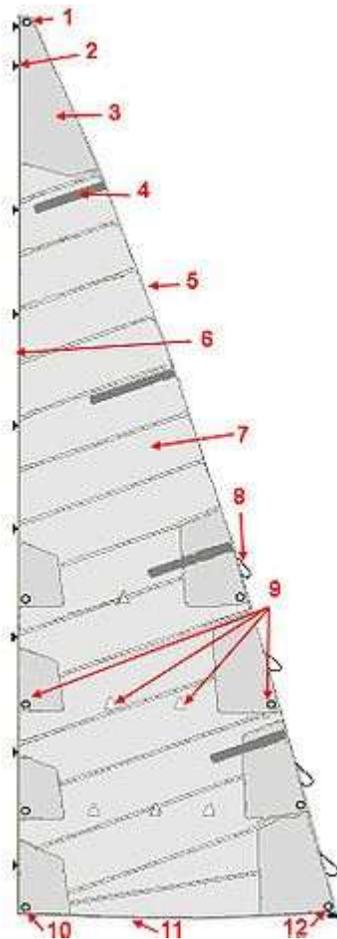
Les voiles

Les voiles sont des matériaux coûteux à recycler. Un skipper ou une école de voile qui ne recycle pas ses voiles pose d'énormes problèmes à la collectivité.

R'Bag propose aux "voileux" de recycler leurs voiles grâce à des collectes organisées permettant de redonner vie de manière élégante à des matériaux voués à la casse.

Les voiles sont d'origine et de natures très différentes. Chaque origine et nature de voile est utilisée à des fins précises dans le processus de confection des bagages.

Structure d'une voile



Une voile est caractérisée principalement par sa forme, son **grammage** et le(s) matériau(x) dont elle est composée.

Les trois angles de la voile (sur une voile à forme triangulaire) ont une appellation spécifique :

- Le **point de drisse** (1) désigne l'angle situé au sommet de la voile une fois celle-ci hissée : c'est l'endroit où la drisse est frappée.
- Le **point d'amure** (10) désigne l'angle attaché au point fixe du bateau : lorsque la voile est en position, le point d'amure est sur l'avant du bateau.

- Le **point d'écoute** (12) désigne l'angle de la voile auquel est frappée l'écoute (foc) ou non loin duquel est passée l'écoute (grand-voile)

Chacune des extrémités de la voile reçoit un renfort (3) constitué de plusieurs épaisseurs de tissus cousus ensemble parfois renforcées par une structure rigide. La **têtière** (3) est la partie renforcée de l'extrémité supérieure de la voile. Un œillet situé à chacun des angles permet de fixer la voile au gréement.

Les côtés d'une voile triangulaire sont :

- La **bordure** (11), encore appelée l'envergure, car souvent reliée à une vergue (ici la bôme) est le côté de la voile parallèle au pont : c'est le bas de la voile lorsque celle-ci est hissée.
- Le **guindant** (6) est le côté de la voile solidaire de l'étai (foc) ou du mât (grand-voile)
- La **chute** (5) est le côté de la voile situé vers l'arrière, toujours libre : sa tension est réglée par un **nerf de chute** (8)

Sur la grand-voile la tension de la bordure et du guindant (passée dans la bôme) est modulée selon la force du vent. Plus la voile est « étarquée », plus elle est plate et inversement. Ceci permet d'adapter le creux à la pression du vent qui s'exerce sur elle.

Sur la grand-voile (sur les voiles d'avant c'est beaucoup plus rare depuis l'avènement des focs et trinquettes à enrouleurs) on trouve également 2 à 3 **bandes de ris** (9) - zones horizontales en partie renforcées et comportant des œillets aux extrémités qui sont utilisées pour réduire la surface de la grand-voile lorsque le vent forcé (prise de ris)

Une voile est généralement composée de **laizes** (7) bandes de tissus cousues, découpées de manière à répartir l'effort en faisant éventuellement varier le grammage et positionner le **creux** de la voile (une voile n'est pas plate sauf s'il s'agit d'une voile de tempête comme le tourmentin).

La chute des grand-voiles modernes est arrondie : c'est le **rond de chute** qui est autorisé par 3 à 4 **lattes** (4). Sur les voiliers très rapides, la voile peut aussi être complètement lattée, la tension des dites lattes permettant d'obtenir très exactement le profil souhaité.

Le guindant de la grand-voile est rendu solidaire du mât soit grâce à des **coulisseaux** (2) fixés à la voile et passés dans la gorge du mât soit grâce à une **ralingue** (c'est-à-dire un cordage cousu le long de la voile). La bordure de la grand-voile est également tenue par une **ralingue** ou un/des **coulisseau(x)** passée dans la gorge de la bôme.

Sur un spinnaker, symétrique par définition, point d'amure et guindant sont côté tangon (après empannage ces termes ne désignent donc plus la même partie de la voile).

Le nom des voiles

La Grand Voile :

Il s'agit de la voile principale du bateau située entre le mât et la bôme. Elle est utilisée à toutes allures avec des réglages différenciés selon le temps. La toile de la Grand voile est très solide et présente un grammage fort. Les Grands voiles génois sont très souvent fabriquées en dacron. Elles sont surtout intéressantes en terme de création car elles contiennent de nombreux éléments réutilisés dans la bagagerie tels que les numéros de voile du bateau, le Logo du bateau les nombreuses coutures et œillets avec les bosses de ris, les lattes, le guidant, les penons, le nerf de chute, la têtère sur laquelle figurent les tampons de jauges des bateaux de course.

Le Génois :

Il s'agit d'une voile située à la proue du bateau Son rôle est de se rapprocher de la direction du vent. La toile de génois est plutôt solide avec un grammage moyen. Elle est néanmoins assez légère et offrant une rigidité moyenne. Le génois est une voile équipant tous les bateaux. Il en existe de plusieurs natures en fonction de la force du vent : "Leger" pour le vent faible, "Inter" pour un vent moyen et "lourd" pour un vent fort. Les génois sont très souvent fabriqués dans des matériaux Mylar, Kevlar ou Carbone. Leur aspect présente des quadrillages ou rayures.

Le Gennaker :

Il s'agit d'une grande voile située à la proue du bateau. En termes de dimension et de plage d'utilisation, le Gennaker se situe entre un génois et un spinnaker d'où son nom. Le Gennaker équipe principalement les bateaux de course. La toile de Gennaker est légère présentant un grammage fin mais une rigidité supérieure à celle du spi.

Le Spi :

Il s'agit d'une grande voile légère en nylon ou en polyester, située à la proue du bateau. Son rôle est d'augmenter la surface de prise au vent en allures portantes. La toile de spi est fragile avec un grammage fin, légère, souple et porte la plupart du temps des couleurs vives. Le spi est une voile équipant à la fois les bateaux de course et de croisière.

Le Tourmentin :

Il s'agit de la plus petite des voiles situées à la proue du bateau Son rôle est de permettre de se positionner "en fuite" au portant lors des tempêtes. La toile de tourmentin est habituellement de couleur vive orange, rouge ou rose. Les tourmentins sont très souvent fabriqués en dacron. Leur aspect coloré permet de les faire rentrer dans la composition de la gamme de bagagerie "sport".

La voile de planche à voile :

Il s'agit de voiles fabriquées dans des matériaux dérivés du plastique et complétées par des fibres de carbone. La voile de planche à voile permet par ses assemblages de petites surfaces et ses couleurs vives de décliner une gamme de bagagerie plutôt sport.

L'aile de Kite surf :

L'aile de Kite surf permet aux kite surfeur de naviguer avec comme support un wake board. L'aile est dans la même matière qu'un spi donc qu'une aile de parapente.

Fibres des voiles

Une voile est fabriquée depuis la nuit des temps à partir de fibre. Les matériaux traditionnels d'une voile sont des fibres naturelles comme le lin, le chanvre ou le coton qui une fois tissées forment un tissu. Néanmoins, les voiles modernes font largement appel aux fibres synthétiques. Ces fibres sont pour les moins chères nylon ou polyester (le dacron est un polyester) et les plus onéreuses aramide, fibre de carbone, mylar, kevlar, spectra. Les récents progrès de la technologie offrent beaucoup de possibilités au maître voilier.

Historiquement les premières fibres synthétique dans le monde de la voile sont apparues dans les années 1950 avec la famille des nylons. Elles furent suivies dans les années 1980 par une nouvelle famille de fibre, les aramides. Cette famille s'est vue rapidement concurrencée par de nouveaux venus dans le monde de la voilerie, les polyéthylènes, les polyesters, les polyazoles et les carbonés.

Les performances d'une voile sont dues à la conception, à sa fabrication et aux caractéristiques des fibres employées, fibres qui sont tissées pour former le tissu de la voile. Une fibre pour voile est évaluée suivant six paramètres :

- **Élasticité** : l'élasticité décrit la possibilité de la voile de se déformer tout en reprenant sa forme d'origine lorsque la contrainte qu'on lui applique disparaît. Une élasticité est comparable à la rigidité d'un ressort. Une forte élasticité est conseillée pour la partie haute des voiles.
- **Limite à la rupture** : Mesure la force maximale que peut atteindre une section de fibre donnée (voir Essai de traction). Plus la force est importante mieux c'est pour la voile. Mesure en fait la capacité de la voile à encaisser une sur-vente sans se déchirer. La voile peut être déformée définitivement donc endommagée. La limite d'élasticité caractérise les efforts maximaux que peut encaisser la fibre (ou voile) sans dommage.
- **Fluage** : Le fluage décrit à long terme la perte de forme de la fibre. Au départ la fibre peut être très résistante, mais avec le temps la fibre se déforme progressivement. Au bout d'un certain temps la fibre peut être très fine, c'est-à-dire bien moins résistante qu'au début. Dans certains cas il vaut mieux une fibre moins résistante et qui flue peu (se déforme pas), qu'une fibre très résistante mais qui flue beaucoup.
- **Ultra violet (UV)** : Les matériaux sont généralement sensibles aux UV. Les UV provenant du rayonnement solaire dégradent les fibres, vieillissent la voile. La résistance aux UV est calculée suivant un test normé.
- **Perte de flexibilité ou Ténacité** : cette perte est due aux pliages, courbures des fibres qui provoquent des micro fissures affaiblissant la fibre. Souvent mesurée à partir d'un test normalisé consistant à plier la fibre 50 fois (un test 60 fois à 180 ° existe aussi).
- Le coût de la fibre est un paramètre important dans le choix.

La Résilience (physique) et la Fatigue (matériau) peuvent aussi être utiles dans le choix des matériaux.

Il n'existe pas de fibre parfaite, la meilleure performance d'un matériau dans un domaine s'accompagne par de faibles performances dans une autre. Généralement un matériau à limite de rupture élevée est très rigide, donc peu flexible donc peu performant au test de perte de flexibilité, donc une voile qui ne supporte pas beaucoup de saisons. Des solutions existent mais elles sont hors de prix.

Il est à noter que les matériaux synthétiques peuvent être employés sous la forme de Polymère à cristaux liquides (matériaux non encore cristallisés comme le verre), le Kevlar étant le plus connu mais aussi le vectran, le zylon.

I/ Les Polyamides

Ia/ Nylon

Le nylon est utilisé pour les spi pour ses qualités de légèreté, de grande résistance à la rupture, de sa grande résistance à l'abrasion et de sa flexibilité. Cependant sa grande élasticité est appropriée pour les voiles hautes. Le *nylon* est une marque non déposée de la firme DuPont . DuPont a ainsi choisi de permettre au mot de devenir d'un usage courant et par extension le terme nylon est le terme générique pour les polyamides non aromatiques. Le nylon est moins résistant aux UV et agents chimiques que le polyester. Les moisissures changent les caractéristiques techniques du nylon.

I/b/ Rilsan

Le rilsan est le nom commercial du polyamide 11 aussi appelé nylon 11 ou *nylon français* fabriqué par Arkema.

I/c/ Aramide (PAA)

Le mot aramide vient de la contraction de aromatique polyamide.

Kevlar, est une fibre aramide. Le Kevlar est la fibre la plus répandue pour les voiles de compétition depuis son introduction par DuPont en 1971. Cette fibre est résistante, et est plus résistante que l'acier à poids égal, a une rigidité cinq fois supérieure au PET soit deux fois plus que le PEN. Les deux Kevlar courants sont : Type 29 et Type 49, le 49 est 50% plus rigide que le Type 29 mais moins flexible. DuPont a développé d'autres fibres bien plus solides Types 129, 149 et 159, mais elles sont peu employées car trop rigides. DuPont a récemment conçu le Kevlar Edge, spécifiquement pour la voile, elle est 25% plus flexible et aussi solide que le Kevlar 49. Le Kevlar, comme les autres fibres aramides, a une faible résistance aux UV. Kevlar perd deux fois plus vite et deux fois plus en solidité qu'un PET au UV. Le Kevlar est très sensible au pliage et au fluage. Une voile Kevlar ne doit pas être pliée si le marin veut assurer une bonne durée de vie de sa voile.

Technora est une fibre d'aramide qui est produite au Japon par Teijin. Le technora a une résistance à la rupture plus faible que le Kevlar 29 mais supérieure du point de vue de la résistance à la flexibilité. La fibre est peu résistante aux UV, cette faiblesse peut être partiellement résolue en enrobant la fibre de couleur naturelle or par une poudre noire. Le Technora est la fibre la plus employée dans la technologie X-ply (le X-ply est un type de scrim. C'est un tramé de renfort placé de biais, il ressemble donc à un X) des voiles laminées.

Le Twaron est une fibre d'aramide, produite aux Pays-Bas par Teijin. Cette fibre est chimiquement et physiquement équivalente au Kevlar de DuPont. Le Twaron HM (pour High modulus) est équivalente aux propriétés du Kevlar 49, avec une meilleure résistance à la rupture et une meilleure résistance aux UV. Twaron SM est équivalent au Kevlar 29. Comme le Kevlar, cette fibre est d'une couleur doré brillant.

II/ Les Polyazoles - Zylon

Le zylon est le nom commercial du PBO. PBO est l'acronyme de sa formule chimique poly(p-phenylene-2,6-benzobisoxazole). Il est sous forme de polymère à cristaux liquides. Le PBO est un polyazole possédant un autre hétéroatome dans le cycle ou oxazole. Il est développé dans les années 1980 par Toyobo une firme japonaise. La

fibre est de couleur or et est la fibre la plus résistante à la rupture sur le marché surpassant les aramides. Le zylon est très stable, résiste à 600 °C, il résiste bien à l'abrasion, difficile à couper, glisse peu, et résiste très bien aux pliages. Il est très flexible et est doux au toucher. Pratiquement la fibre idéale mais le zylon est très sensible au UV et la lumière visible.

III/ Les Polyesters

III/A/ Polyesters semi-aromatiques saturés

III/A/a/Polyester (PET)

Le polyéthylène téréphtalate, est le polyester le plus courant. Il est aussi la fibre la plus employée pour les tissus de voile. Le PET est un polymère dont le motif de répétition est composé d'ester et d'éthylène. Le PET a une excellente résistance aux chocs, à l'abrasion, aux UV, au test de flexibilité et n'est pas cher. Le PET est remplacé par des fibres plus résistantes pour les voiles de compétition, mais reste la fibre la plus populaire en raison de son faible coût et sa très grande durabilité.

Il existe plusieurs fabricants de PET avec des performances qui peuvent varier. Le Dacron est le nom déposé par Invista Inc (ex DuPont Textiles) pour son PET. La fibre spécifique voile est le *Type 52 high modulus fiber*. Le Dacron a une très bonne tenue au frottement, au ragage, à la déchirure et une faible déformation à l'effort. Le Dacron est utilisé pour des voiles de plaisance en programme croisière. Allied Signal produit le *1W70 polyester* qui est 27% plus résistant à la rupture que le dacron. Le PET est aussi fabriqué par plusieurs autres firmes sous des noms différents : Tergal de Rhône Poulenc, Tétoron de Toray, Terylene de ICI, Diolen de ENKA/AKZO.

III/A/b/Pentex ou PEN

Le Pentex est un polyéthylène naphthalate produit par Honeywell. Sa forme tissée en fait une fibre qui se déforme peu (élongation limitée à 5% à comparer aux 15% du Dacron), avec une élasticité de 250 au lieu de 80 à 120 pour les polyéthylènes classiques (élongation limitée à 5% à comparer aux 15% du Dacron). C'est-à-dire 40% d'élongation par rapport au PET mais deux fois plus que le Kevlar 29. Il n'est pas affecté par la flexion et résiste assez bien aux ultraviolets. Comme il est moins flexible que le PET, il ne peut être tissé aussi serré, le tissé doit donc être imprégné avec une résine, donnant des voiles plus fragiles à l'usage.

Le pentex (ou fibre de PEN) est souvent associé à un film de PET (plus connu sous le nom de mylar), soit comme fibre de structure transmettant les efforts et/ou soit comme taffetas de protection du film. Le Pentex est principalement utilisé dans les régates de monotypes. Elle reste une alternative économique intéressante pour des voiles hautes performances.

III/B/ Polyesters aromatiques saturés

III/B/a/ Vectran

Vectran est un polyester haute performance sous forme de polymère à cristaux liquides. Il est produit par Ticona. Sa couleur naturel est l'or et à une élasticité similaire au Kevlar 29. Il a pour avantage : une très haute résistance, une faible élongation, une assez bonne caractéristique de résistance à la flexion, une très bonne ténacité, une bonne résistance au fluage, un allongement avant rupture excellent, une excellente résistance aux charges répétées. Son endurance aux UV est inférieure aux PET et PEN, mais il se stabilise après 400 heures, contrairement aux aramides et spectra qui n'arrêtent pas de se dégrader. Ce matériau est utilisé pour les voiles de croisière.

IV/ Les Polyéthylènes

IV/a/ Spectra

Le Spectra est une marque de fibre synthétique en polyéthylène (UHMWPE) produit par Honeywell. Elle offre une résistance aux ultra-violetts supérieure au PET avec une raideur bien plus élevée en seconde place derrière la fibre de carbone. Elle offre aussi une grande résistance à la rupture et une haute flexibilité. Mais elle souffre de possible déformation plastique lorsque de longue utilisation. Cette modification de la forme de la voile, la fait vieillir prématurément, c'est la raison pour laquelle elle est surtout employée pour les spi en compétition (la voile est changée régulièrement).

IV/b/ Dyneema

Équivalent au Spectra, le Dyneema est produit aux Pays-Bas par la société DSM. Très utilisé en Europe pour les voiles, la fibre offre une gamme comparable au Spectra. Cette fibre devient de plus en plus populaire en Amérique du Nord.

IV/c/ Certran

Hoehst, Celanese produisent du Certran, un polyéthylène similaire au Spectra, de résistance à la rupture deux fois plus faible. Il est similaire au Spectra mais avec une flexibilité supérieure et une résistance au UV supérieure.

V/ La Fibre de carbone

La fibre de carbone est un assemblage d'atomes de carbone dans une configuration offrant une grande résistance. Il n'est pas sensible aux UV et offre une faible élasticité. La gamme des fibres de carbone va de fibres d'une extrême fragilité à des fibres extrêmement durables, flexibles et à peine moins solides que les fibres d'aramide.

Le Tissage

Le tissage des fils ou fibres est souvent un tissage formant une trame de 148 par 160 soit environ 13,10 m/kg pour une largeur de rouleau (laize) de 102 cm. Un tissage serré est préféré pour les voiles de spi et les voiles hautes. La qualité du tissage est primordiale, il vaut mieux un bon tissage avec un fil moyen qu'un mauvais tissage avec un fil excellent.

Beaucoup de techniques sont employées pour le tissage, le fil de trame peut ne pas être identique au fil de chaîne. Cela permet de renforcer une direction du tissu. Le tissu est dit orienté chaîne lorsque le fil de chaîne est plus solide que le fil de trame. Par conséquent un tissu orienté chaîne est plus résistant dans le sens de la longueur. Inversement un tissu orienté trame lorsque le fil de trame est plus résistant que le fil de chaîne. Le tissu sera alors plus résistant dans le sens de la largeur. Lorsque aucun des fils chaîne ou trame n'est privilégié le tissu est dit équilibré. Le type d'orientation du tissu détermine les coupes possibles du tissu. En effet les efforts d'une voile sont principalement orientés verticalement. Au point de fixation, la concentration des efforts est maximale. Avec un tissu orienté trame la coupe est uniquement horizontale avec des laizes perpendiculaires à la chute.

La coupe des voiles peut se faire de trois façons :

- coupe horizontale
- coupe verticale
- coupe radiale

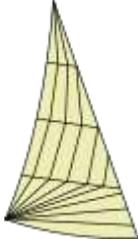
Dans la coupe horizontale, les laizes sont assemblées alors en panneaux parallèles à la bordure. Une laize ressemble à un rectangle horizontal. Dans la coupe verticale, les laizes sont assemblées alors en panneaux parallèles à la chute. Une laize ressemble à un rectangle vertical. Dans la coupe radiale, le tissu est coupé en biais. Les laizes ressemblent à un triangle (ou un triangle tronqué). Lorsque les triangles pointent tous vers un même point la voile est dite radiale. Lorsque les triangles forment nettement deux groupes :

- le premier groupe de triangles pointant vers un point de la voile,
- le deuxième groupe vers un autre point,

la voile est dite bi radiale. Une coupe est dite tridariale quand la voile est formée de trois groupes distincts de triangles pointant vers trois points différents. Les points en question sont les points de fixation de la voile (amure, drisse, écoute). Une coupe tridariale permet de rapprocher au mieux le fil fort des lignes d'effort de voile que les autres types de coupe, la voile est donc plus solide toutes choses étant égales par ailleurs. Comme la contrainte est d'orienter au mieux le fil fort suivant les lignes de contrainte, un tissu orienté trame ne peut être employé que pour les voiles à coupe horizontale. Un tissu orienté chaîne ne peut être employé que pour les voiles à coupe verticale et radiale. Les voiles modernes utilisent généralement cette technique. Mais des tissages plus lâches existent.



• coupe horizontale



• coupe biradiale



• coupe triradiale

Par nature les tissages sont sensibles aux déchirures. Par construction, le tissage consiste à passer alternativement le fil de trame et de chaîne l'un au dessus de l'autre. Le fil ne relie pas deux points de façon la plus courte, en ligne droite mais en *ondulant* appelé embuvage. En conséquence lorsqu'une charge est appliquée, le fil a tendance à se tendre, c'est-à-dire se rapprocher de la ligne droite, le tissu s'allonge. Ironiquement pour réduire ce problème d'allongement il faudrait tisser plus serré, c'est-à-dire trouver une fibre acceptant plus de courbure, donc plus solide. Mais les fibres plus solides sont aussi plus rigides, donc non tissables.

Des tissages plus lâches existent. Ces tissages plus modernes ressemblent plus d'aspect à un grillage ou à treillis. Trois grandes catégories existent. Les maîtres voiliers combinent parfois ces techniques par exemple renforcer la tenue spatiale d'une fibre orientée par l'ajout d'un scrim. Ces techniques sont bien plus difficiles et longues à mettre en œuvre. Ces technique offre des performances incomparables, c'est le cœur du métier des voileries *hautes performances*. Dans la littérature il n'est pas rare d'employer par abus le terme générique de scrim à l'ensemble de ces techniques.

Fibres orientées

L'idée est d'orienter les fibres suivant les lignes d'effort de la voile. Grâce aux progrès techniques, la longueur d'une fibre n'est plus limitée, ainsi les fibres sont :

- placées d'un seul tenant
- parcourent toute la voile
- et suivent les lignes d'effort de la voile.

Une fibre va donc d'une fixation de la voile à une autre fixation de la voile.

Une voile spi est tenue uniquement en trois points :

- point d'amure
- point d'écoute
- point de drisse

Le scrim est alors composé de trois faisceaux de fibres allant d'un point de fixation de la voile à un autre :

- du point d'amure au point d'écoute
- du point d'écoute au point de drisse
- du point de drisse au point d'amure.

Le treillis devient bien plus complexe pour des voiles où la fixation n'est plus un simple point mais une ligne comme par exemple le guidant (ou mat) d'une grand voile de bermudien, la corne d'une voile à corne, ou la bôme ...

Pour maintenir en place les fibres, à chaque croisement de fil, les deux fils sont liés entre eux (par de la colle par exemple). La voile est dite à fibre orientée.

Scrim

Les fils forment un grillage rectangulaire. Pour maintenir en place les fibres, à chaque croisement de fil, les deux fils sont liés entre eux (par de la colle par exemple). L'ensemble de ces fibres forment une sorte de tissage appelé scrim.

Ruban

Dans ce cas le fil est remplacé par une bande. Deux largeurs de bandes peuvent être employées pour réaliser le tissu.

Films

Un film est une fine couche de matériaux extrudé à partir de polymère. Le film est utilisé avec des matériaux tissés pour former des voiles laminées.

Film de PET

Le PET est le film le plus répandu. Par extrusion et réticulation sous tension, on obtient du polyester amorphe un film aux propriétés biaxiales semi-cristallines. Ce film de très grande solidité en tension, très stable et transparent, très bon isolant électrique, est connu sous les marques Mylar et Melinex.

Film de PEN

Le film de PEN est la version aux propriétés biaxiales de la fibre de PEN. Comme la fibre PEN est plus résistante que la fibre PET, le film PEN est plus résistant que le film PET. Néanmoins le film PEN est peu employé car il se détériore plus vite dans le temps que le PET.

Bain

Une nouvelle technique est apparue, au lieu de poser un film par laminage, la voile est plongée dans un bain de résine Teldar. Il se crée alors au séchage un film PVF (polyfluorure de vinyle)

Voile laminée

À partir des années 1970, les voileries ont commencé à fabriquer des voiles laminées. Les voiles laminées sont des voiles composés d'un sandwich de différents matériaux

synthétiques disposés en plusieurs couches. Le cumul de couches de matériaux différents permet de cumuler les avantages de chacun.

En utilisant des films de PET ou PEN, l'allongement (élasticité) de la voile est considérablement réduit. De même les voileries ont pu orienter les fibres, c'est-à-dire placer un scrim. Des couches de taffetas sont aussi insérées en sus pour améliorer le ragage.

Les voiles laminées peuvent être classées en quatre catégories suivant les technologies de fabrication employées :

- Tissé-Film-Tissé : Le Film est pris en sandwich entre deux couches de tissus parfois appelé taffetas. Le film procure une plus grande résistance à l'élongation (déformation de la voile) qu'un tissu, les deux tissus apportent une protection du film en améliorant la résistance à l'abrasion et aux déchirures. Les versions haut de gamme utilisent du Spectra tissé ou du taffetas de Kevlar. Dans de récentes évolutions, des fils d'aramide sont inclus dans le film. Parfois une seule couche de tissu (ou taffetas) au lieu de deux est mise pour soit des questions de cout ou de légèreté de voile.

- Film-Scrim-Film ou Film-sur-Film : Ce type de voile est un sandwich de trois couches : un film, un scrim, et un film. Le scrim est pressé entre deux couches de film. Cette méthode crée une voile très peu sensible à l'étirement (déformation plastique sous contrainte), ce qui n'est pas possible avec un tissu. Un tissu se déforme trop facilement. De plus comme le scrim est pris entre deux films cette technique réduit la quantité de colle nécessaire au maintien du scrim. Dans les voiles haut de gamme les fils du scrim peuvent être pré-contraints durant la phase d'assemblage avec les films, cette méthode est à comparer au béton précontraint (plus performant pour un même poids).

Les inconvénients de cette technologie sont :

- la voile est sensible à l'abrasion (les films ne sont pas protégés)
- la voile est peu flexible
- les fils du scrim ne sont pas protégés des UV, dans certains cas les films sont traités en ce sens pour éliminer le problème.

- Tissé-Film-Scrim-Film-Tissé : C'est la technique la plus haut de gamme mature. Le scrim est composé de fil très résistant mais ces fils sont généralement sensibles au UV. Le scrim est maintenu dans un film, en fait protégé de chaque côté des UV par un film. Les films sont traités opaques au UV pour protéger le scrim. Les films étant fragiles à l'abrasion, un taffetas est ajouté de chaque côté pour protéger la voile. Cette technique combine les avantages de chaque matériau mais reste d'un cout élevé.

- Tissé/Scrim/Tissé : Le scrim est entouré par une couche de tissu sans que le scrim soit inclus dans un film. Le problème est d'être capable de faire le scrim avec un fil très résistant, car il est difficile de faire cohabiter deux fils différents ensemble, celui du scrim et celui du tissu. Cette technologie est encore très récente mais reste prometteuse.

Les Renforts

Il est judicieux pour améliorer la pérennité de la voile de renforcer les points de fortes contraintes ainsi que les points de forte usure. Ces renforts sont à placer judicieusement sans pour autant trop rigidifier la voile, ce qui changerait son profil et donc ses performances. Le renfort le plus courant est le rajout de coutures, souvent accompagnées d'une couche supplémentaire de tissus à voile cousue à la voile. Dans le cas de voile laminée, l'assemblage de la couche supplémentaire est plus délicate (couture quasi exclue dans les voiles hautes performances 3D).

Les renforts d'angles

Les renforts d'angle sont quasi obligatoires. Ils peuvent être intégrés à la voile ou rapportés (tissus à voile rigide éventuellement autocollant, ou en adhésif très solide, adhésif armé, cousue). Le tissu à voile collé et cousu résistera mieux dans le temps que l'adhésif seul. Le passage des écoutes et des drisses est le point où tous les efforts de

la voile sont transmis au gréement, donc au navire. Les efforts sont tels que des matériaux comme l'acier sont employés : les œilletons (type magasin de bricolage).

Les renforts de guindant

Très courants, car c'est une zone avec un fort ragage. Le mieux est un renfort en tissu (ou film) à voile, mais des adhésifs armés existent.

Les renforts le long de la chute

Rarement employés, car leur pose s'accompagne généralement d'une déformation de la voile. Il en existe en adhésif mylar ou renforcé kevlar.

Les lattes

Les lattes sont des renforts de voile assez rigide, elles permettent d'un part un renfort et d'autre part le maintien du profil de la voile. Elles sont surtout employées pour le maintien de la forme de la chute. Beaucoup de matériaux sont employés, les plus courants étant le polyester ou la fibre de verre, et la fibre de carbone pour les voiles de régate. Elles sont soit démontables soit intégrées à la voile.

Lorsque plusieurs lattes font toutes la bordure, la voile se nomme voile fullbatten.

La Couture

Lorsque la voile n'est pas en un seul morceau, il faut lier les différents éléments appelé laizes. La couture est le moyen employé pour l'assemblage des laizes. La couture des voiles est un domaine à part entière.