

Matériaux à voiles

ou le monde extraordinaire des polymères

Introduction

Nous sommes dans le monde de la chimie organique, c'est-à-dire des dérivés du carbone ; dans les corps dont nous allons parler, on trouvera également des atomes d'hydrogène, d'oxygène, et parfois d'azote, de chlore, de fluor.

Nos voiles sont composées de fils (nos cordages aussi !) et maintenant de films. Les fils sont obtenus à partir de fibres en *polymères cristallins* qui sont des macromolécules de structure allongée, arrangées en filaments sensiblement rectilignes et parallèles. Les liaisons hydrogène fortes de leur structure maintiennent les chaînes ensemble très solidement, ce qui les empêche de glisser les unes par rapport aux autres et explique pour partie leur bonne résistance à la traction.

I. Les produits

a) fibres et fils tissables

- **Naturels**

 - **Coton**

 - Pour mémoire, il a été utilisé jusqu'à la fin des années 50 .

- **Polyamides non aromatiques (PA)**

 - Famille de copolymères résultant de la polycondensation d'un diacide avec une diamide, ou d'un aminoacide sur lui-même. Tirés du charbon, du pétrole, du ricin. Autres noms connus : Rilsan PA 11, Technyl

 - **PA 6.6 Nylon** : nom déposé (Du Pont de Nemours), poly(adipamide d'hexaméthylène diamine)

 - **PA 6** Poly(coprolactame)

- **Polyesters non aromatiques saturés (PET)**

 - Ce sont des poly(téréphtalate d'éthylène)

 - **Dacron** : nom déposé par Du Pont de Nemours,

 - **Tergal** : nom déposé par Rhône Poulenc,.

 - **Tétoron** : nom déposé par Toray ,

 - **Terylene** : nom déposé par ICI,

 - **Diolen** : nom déposé par ENKA/AKZO,

- **Polyesters aromatiques saturés (PEN)**

 - Poly(naphtalate d'éthylène)

 - **Pentex** : nom déposé

- **Poly(éthylène)s haute densité (HDPE)**

Spectra : nom déposé par Allied Signal Corp./Honeywell, blanc brillant

Dyneema : nom déposé par DSM High Performance Fibers BV,

b) fibres et fils non tissés

Généralement utilisés sous la forme de fibres groupées en nappes ou en filaments.

- **Polyamides aromatiques, ou aramides (PAA)**

Ce sont des poly(paraphénylène téréphtalamide)s,

Kevlar : nom déposé par Du Pont de Nemours, jaune

Technora : nom déposé par Toray, noir.

Twaron : nom déposé par AKZO, jaune.

Il y a plusieurs variétés de Kevlar (29, 49, Edge), de Technora et de Twaron de performances différentes.

- **Vectran** : nom déposé par Hoechst Celanese Corp., copolymère de polyester-polyarylate, c'est un polymère à cristaux liquides thermoplastique (LCP), famille des polyesters aromatiques. Couleur miel.
- **Zylon** : nom déposé par Toyobo, polyphénylène-26-benzobisoxazole ou PBO. Dit parfois para-aramide. Couleur marron.
- **Carbone** : Fibres (acryliques, polyester ou cellulosiques) portées à très haute température en atmosphère d'azote et n'ayant conservé que leurs molécules de carbone (93 à 95%) en chaîne hexagonale. Noir. Il y a aussi plusieurs variétés (formules chimiques, procédés de fabrication). Curieusement les noms de marque de sont pas connus.

c) Films

Mylar : nom déposé par Du Pont de Nemours, poly(téréphtalate d'éthylène) (PET), famille des polyesters non aromatiques. Film transparent.

Autres : poly(éthylène), poly(acrylate)

II. Le vocabulaire chimique

Monomère : Corps composé formé de molécules simples pouvant réagir avec d'autres molécules pour donner des polymères.

Polymère : Corps formé par polymérisation, c'est une macromolécule.

Polymérisation : Réaction qui, à partir de molécules de faible masse moléculaire (monomères), forme, par les liaisons de celles-ci, des composés de masse moléculaire élevée appelés macromolécules ou polymères.

Copolymère : Composé formé de macromolécules renfermant des motifs monomères différents.

Polyester : Copolymère résultant de la condensation de polyacides avec des alcools non saturés ou avec des glycols. Tiré du pétrole.

Alcool : Composé organique oxygéné de formule générale $C_nH_{2n+1}OH$

Glycol : Dialcool de formule $HOCH_2-CH_2OH$

Condensation : Assemblage de plusieurs molécules chimiques, avec élimination de molécules souvent simples (eau, chlorure d'hydrogène, etc.).

Polyacide : Corps possédant plusieurs fonctions acide.

Polyamide : Copolymère résultant de la polycondensation d'un diacide avec une diamide, ou d'un aminoacide sur lui-même. Tirées du charbon, du pétrole, du ricin.

Polycondensation : Réaction de formation de macromolécules mettant en jeu des espèces chimiques renfermant plusieurs monomères différents.

Amide : Composé organique dérivé de l'ammoniac (NH_3).

Aminoacide : Substance organique ayant une fonction amine, constituant fondamental des protéines (syn.: acide aminé).

Poly(éthylène) : Matière plastique résultant de la polymérisation de l'éthylène (C_2H_4), sous-produit de la distillation du pétrole. On distingue les poly(éthylène)s basse densité (LDPE), les poly(éthylène)s haute densité (HDPE) tels Spectra et Dynneema, et les poly(éthylène)s ultra haute densité (UHMPE)

Poly(propylène) : Matière plastique résultant de la polymérisation du propylène (C_3H_6).

Aromatique : Composé dont la molécule contient au moins un noyau benzénique.

III. Performances indicatives comparées des fibres

Fibres	Module d'élasticité	Ténacité g/denier	Perte au flex 60 cycles*	Tenue aux UV mois	Allongt à la rupture %	T fusion ° C
Nylon	45	9,5	0	3 à 4	13	220
Polyester Hte ténacité	135	7,9	0	6	8	260
Polyester (PEN)	250	10,2	0	6	6	250
Polyéthylène HDPE	1250	33	0	6 à 7	5	150
Aramides	550 à 950	24 à 29	7 à 25%	2 à 3	1,5 à 4	-
Vectran	510	23	15%	1 à 2	2	330
Carbone	1350	60	22%	Sans effet	1,5	-
PBO	1830	44	27%	2 à 3	2.5	

* Perte de ténacité après 60 cycles de pliage à 180 degrés.

IV. Le vocabulaire textile

Voici quelques termes qui vous aideront à déchiffrer les documentations techniques des fabricants de tissu et des voileries :

Ténacité : résistance à la déformation sous l'action d'efforts continus ; caractérisée par la résistance à la rupture.

Elasticité : propriété des matériaux à reprendre leurs formes et leurs dimensions primitives ; caractérisée par la limite élastique et le module d'élasticité.

Module d'élasticité : c'est l'effort de traction nécessaire pour obtenir un allongement donné. S'exprime en Mpa (mégapascal), ou en daN/mm², autrefois en kg/mm². Souvent appelé module de Young.

Titrage : mesure utilisée pour déterminer la grosseur d'un fil. Unité officielle: le tex, pratiquement encore le denier.

Tex : unité officielle définissant la grosseur d'un fil. On utilise plus couramment son sous-multiple le décitex, dtex, qui est le poids de 10 000 m de fil.

Denier : ancienne unité de grosseur correspondant au poids de 9 000 m de fil, encore très utilisée.

Ounce : unité (UK, USA) de poids. 1 oz vaut 0,278 N.

Les matériaux à voile sont caractérisés par leur poids par unité de surface : en Europe continentale, en g/m². Mais la profession parle volontiers en « oz » ;

$$1 \text{ oz US} = 42,8 \text{ g/m}^2.$$

Nota : l'once US des voiliers est le poids d'une surface de 36'' x 28,5''. Les ressortissants de la perfide Albion parlent eux de ounce par yard carré , oz/sq.i, qui vaut 0,794 oz US. 1 oz US vaut 1,26 oz UK.

Retenons que **1 oz US = 1,26 oz UK = 42,8 g/m²**

Flex : terme anglais pour définir la résistance au pliage et la flexion (alternés).

Mil : unité américaine définissant l'épaisseur d'un film . Vaut 1/1000 inch, soit 25 µm.

Chaîne : ensemble de fils disposés dans le sens de la longueur d'un rouleau de tissu.

Trame : ensemble de fils en travers des fils de chaîne.

Taffetas : tissu léger.

Yard : unité de mesure anglo-saxonne de longueur qui vaut 0,9144 m, ou 3 feet (1 foot vaut 0,3048 m, ou encore 36 inches (1 inch vaut 25,4 mm).

V. Les produits finis

- **Les tissus**

Fibres utilisées pour le tissage :

Pour les spis : polyamides ou polyesters PET, fils de 70 à 300 deniers, tissus de 20 à 80g/m² (0,5 à 1,8 oz), chaîne et trame identiques, Ripstop.

Pour les GV et les focs :

Polyesters PET et/ou PEN, fils de 500 à 2000 deniers, tissus de 130 à 600g/m² (3 à 14 oz), fils chaîne et trame de titrages et/ou de matières différents, par exemple chaîne Dacron / trame Pentex ;

Poly(éthylène) haute densité, tissés avec chaîne PET ou HDPE .

Processus de fabrication élaboré en une quinzaine d'étapes.

Tissage en continu, rouleaux de 1 yard (0,914 m) ou 1 mètre de largeur.

- **Les « laminés »** fabriqués en lés continus comme les tissus. Sandwich formé de films (Mylar par exemple), de fibres non tissées de natures variées (PEN, HDPE, aramides, PBO, carbone) disposées dans le sens de la chaîne, de la trame et dans le biais (« scrim » ou âme, aspect de grillage), parfois de tissu (taffetas), assemblés par collage ; les films de colle sont polymérisés à chaud et sous pression. Technique mise au point et commercialisée à la fin des années 70. Poids de 100 à 500 g/m²
- **Les voiles entières** fabriquées sur moule : c'est le **3DL** de North Sails. Assimilable à un laminé, les fibres, non parallèles, sont disposées dans le sens des efforts (brevet Génésis) et à peu près tous les types de fibres peuvent être utilisés. Laminage pas possible.
Technique mise au point et commercialisée au début des années 90.
- Les panneaux spécifiques dits **membranes**, fabriqués en laminé mais dont les fibres sont orientées dans le sens des efforts : brevet Génésis détenu par Elvström-Sobstad et exploité par Dimension-Polyant sous le nom de D4 (Dimension a racheté début 2004 l'australien Frazer qui fabriquait le D4 sans licence). Collage des composants à chaud et sous pression.
- Le Tape Drive de UK est aussi une exploitation du brevet Génésis ; des bandes de fibres sont collées dans le sens des efforts sur des voiles de conception traditionnelle.
- Le procédé **Cuben Fiber Corp.** Des nappes de fibres ou de fils très fins sont superposées dans des directions définies, assemblées avec une résine entre deux films très minces puis soumis à une forte pression en autoclave. Les produit livrés sont des panneaux d'environ 1 m x 9 m que les voileries doivent préparer pour la mise en œuvre : découpe des rives, assemblage pour former des rouleaux. Le composite obtenu est très homogène, imperméable et présente un taux de fibres élevé. Toutes les fibres peuvent être employées et on peut même fabriquer des « tissus » à spi (0,35 oz !).
Création en 1992, développement et commercialisation en 1997.

A. Bujeaud, 23 novembre 2004