

# Le textile, un matériau multifonctionnel

*Ingénieur de l'École Supérieure de Chimie Industrielle de Lyon et Docteur ès Sciences en rhéologie des polyesters, Guy Némoz est expert, consultant en textiles à usages techniques.*

Présents depuis toujours dans l'habitat et plus récemment dans les ouvrages d'art, les textiles s'introduisent dans le bâtiment et la construction comme des matériaux techniques ; seuls ou en composites (les composites sont abordés par le **Chapitre d'après la conférence de P. Hamelin**), ils peuvent rivaliser avec les matériaux traditionnels (bois, béton, acier) par leurs performances, leur légèreté et leur durabilité. La durabilité peut parfois être utilisée dans ses deux acceptions, à savoir la tenue dans le temps et la compatibilité environnementale (par exemple la recyclabilité).

Dans le domaine de l'habitat, le textile peut intervenir à différents niveaux de fonctions techniques : il peut jouer un rôle mécanique, notamment en renforcement de matériaux,

un rôle thermique, acoustique ou d'étanchéité, un rôle de protection contre le rayonnement solaire ou électromagnétique, contre le feu, ou encore l'électricité statique. N'oublions pas qu'il intervient aussi largement dans la décoration et le confort de la maison.

Quels sont ces textiles et comment l'habitat les utilise-t-il en tant que matériaux multifonctionnels ?

## 1 Les textiles : produits et traitements

### 1.1. Des fibres de toute nature pour les textiles

Depuis que l'art du filage existe, qui consiste à former des fils par assemblage et torsion de fibres, l'homme a très vite développé des techniques

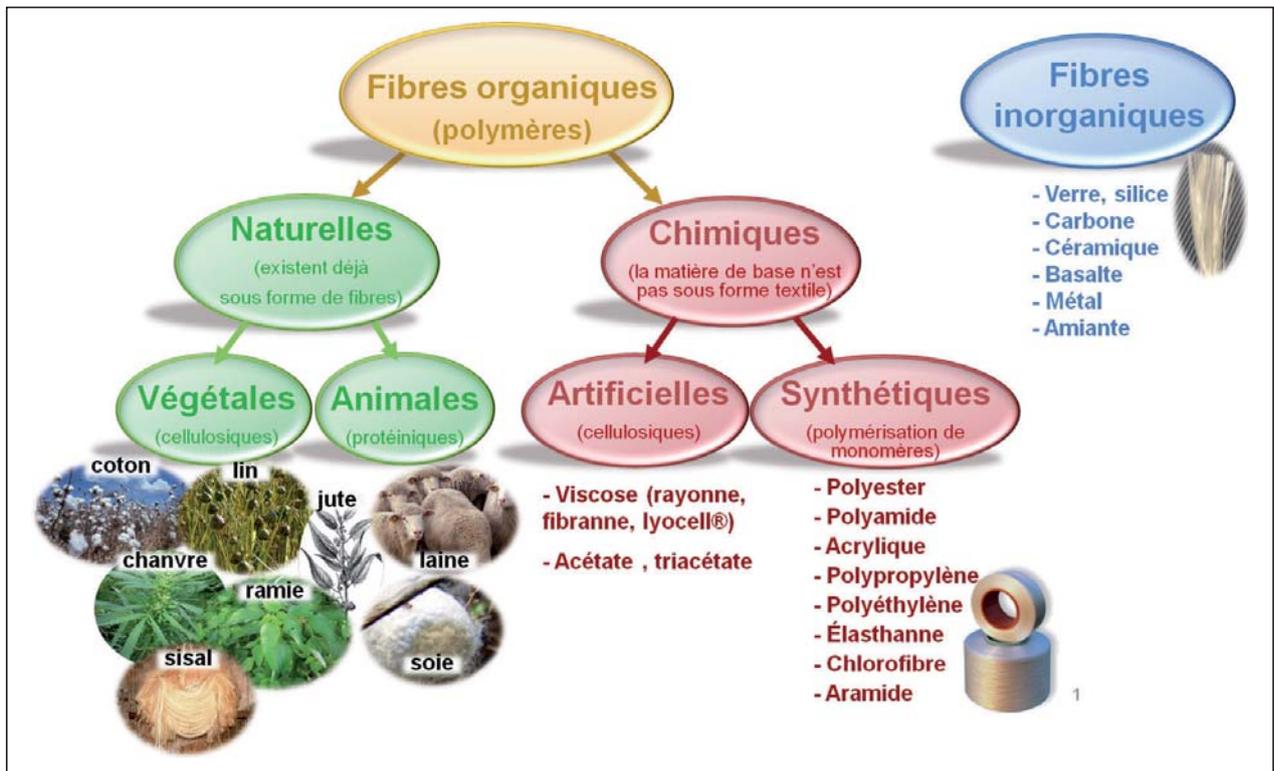


Figure 1

Les fibres constitutives des textiles sont de natures chimiques très variées.

Figure 2

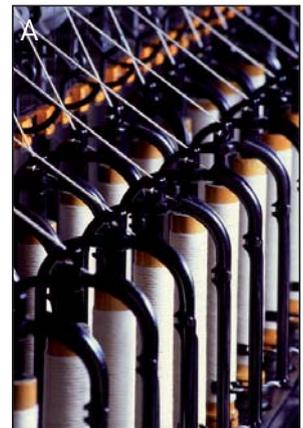
Du rouet à la filature industrielle : l'art du filage a traversé les siècles et se renouvelle chaque fois avec de nouvelles techniques.

A) Minerve utilisant un rouet, par Diego Vélasquez (Les Fileuses, La légende d'Arachné, huile sur toile, 222 x 293 cm, 1644-1648, musée du Prado, Madrid) ; B) image photochrome d'une Irlandaise filant au rouet. Photo 1890-1900. Library of Congress ; C) filature de coton.

de tissage pour confectionner des textiles pour son usage quotidien, en particulier pour se vêtir et se protéger du froid. Il a commencé par utiliser des fibres d'origine animale (laine de mouton, de lapin Angora...) ou végétale (lin, coton...) (Figure 1). Au fil des siècles, la quenouille, le rouet et le fuseau ont laissé place au métier à filer, puis au XVIII<sup>e</sup> siècle sont apparues les premières filatures industrielles (Figure 2).

Peu à peu, les chimistes ont complété la palette des fibres naturelles avec des fibres artificielles, fabriquées à partir de matières premières naturelles, avant d'inventer et de

développer après la Seconde Guerre mondiale les fibres synthétiques, à base de polymères obtenus par réactions chimiques généralement à partir d'hydrocarbures issus du pétrole (voir la Figure 1). Depuis quelques années, on s'intéresse aux matières premières renouvelables pour obtenir des matériaux bio-sourcés, qui présentent de nombreux avantages environnementaux (voir le Chapitre de D. Gronier) : un exemple est la fibre d'acide polylactique, polymère biodégradable synthétisé à partir de l'amidon de maïs, et qui peut, entre autres, remplacer le polyéthylène pour les



sacs plastiques. Ces fibres appartiennent à la catégorie des fibres organiques ; il faut leur ajouter les fibres inorganiques d'origine minérale comme la fibre de verre, à base de silice et d'alumine essentiellement, ou constituées de métaux, céramiques ou carbone. Ces fibres à très hautes performances sont utilisées principalement pour le renforcement des matériaux composites, comme nous le verrons par la suite.

Nous utilisons aujourd'hui quotidiennement des textiles synthétiques, aussi bien pour les vêtements<sup>1</sup> que pour les tissus de décoration ou d'usage intérieur (rideaux, matelas, serviettes, tapisseries...), en passant par des matériaux de construction de plus en plus élaborés, à la fois résistants et légers, avec des applications techniques très diverses : tissus ignifugés, tissus d'isolation, géotextiles, etc. (voir aussi le *Chapitre d'après la conférence de P. Hamelin*).

## 1.2. Des fibres aux textiles : la structuration

Qu'ils soient confectionnés par la nature (ver à soie, araignée...), par l'artisan ou par le chimiste (*Figure 3*), les fils peuvent être structurés entre

1. Au sujet des textiles pour vêtements, en particulier pour le sport, voir l'ouvrage *La chimie et le sport*. Chapitre de F. Roland. Coordonné par Minh-Thu Dinh-Audouin, Rose Agnès Jacquesy, Danièle Olivier et Paul Rigny, EDP Sciences, 2011. Voir aussi : Némoz G. (1999). Chimie pour le textile. Habillement. Des molécules et macromolécules pour le confort et la protection de l'homme. *L'Act. Chim.*, **225** : 56.

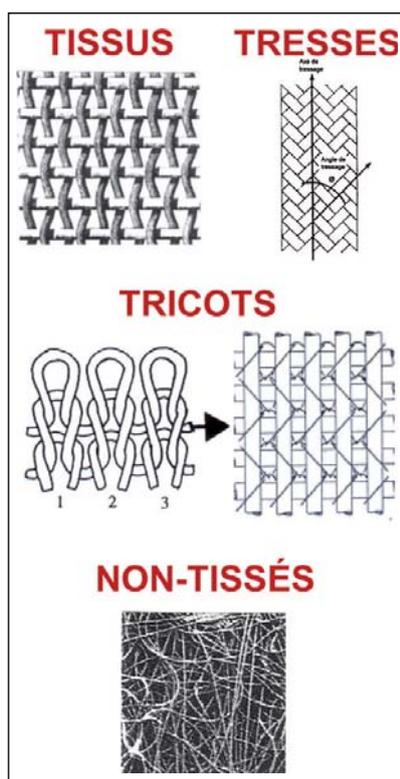


*Figure 3*

*Le tissage : des fibres naturelles aux fibres artificielles puis synthétiques, de l'artisan au chimiste : le métier est le même !*

Figure 4

Différentes manières de faire des surfaces avec des fils pour confectionner des textiles.



eux par différentes techniques, afin de former des surfaces ou même des volumes.

### 1.2.1. En deux dimensions

L'entrecroisement de ces fils dans un même plan<sup>2</sup> conduit à une armure, et les possibilités sont multiples : orthogonalement, en diagonale (tissus, tresses, tricots) ou aléatoirement (non tissé)<sup>3</sup> (Figure 4 et Encart : « Des fibres aux armures : l'art du tissage, des fibres naturelles aux fibres synthétiques »).

De la même manière que l'on fabrique des tissus et étoffes pour l'habillement, on peut réaliser des textiles techniques à partir de fibres synthétiques ; elles sont obtenues à partir de chaînes de polymères par une technique de filage qui consiste, après extrusion à l'état fondu et refroidissement partiel de la résine, à étirer les chaînes dans un sens privilégié, de sorte que les forces des interactions moléculaires puissent être exploitées pour la résistance thermique et/ou mécanique.

Citons l'exemple des aramides (contraction de aromatique polyamide) : ces fibres sont résistantes à la chaleur et présentent de bonnes pro-

2. En artisanat, les fils à tisser s'entrecroisent perpendiculairement, les uns dans le sens de la chaîne, c'est-à-dire tendus entre les ensouples du métier à tisser, et les autres perpendiculairement, c'est-à-dire dans le sens de la trame.

3. Voir aussi l'ouvrage *La chimie et le sport*. Chapitre d'Y. Rémond et de J.-F. Caron. Coordonné par Minh-Thu Dinh-Audouin, Rose Agnès Jacquesy, Danièle Olivier et Paul Rigny, EDP Sciences, 2011.

priétés mécaniques qui en font de bons composants de renfort pour des matériaux composites (voir le Chapitre d'après la conférence de P. Hamelin). On peut citer le célèbre Kevlar® (Figure 6) fabriqué pour la première fois en 1973 par la société DuPont de Nemours, ainsi que son concurrent Twaron®, de structure chimique identique, fabriqué par Akzo en 1978.

### 1.2.2. En trois dimensions

Il existe également des technologies qui permettent de confectionner des textiles en trois dimensions. C'est ce qu'illustre le parabeam®, qui ressemble à un matériau stratifié de type nid d'abeilles (voir le Chapitre de J.-P. Viguier, Encart : « Des nids d'abeilles, solides et légers ») ; sa rigidité est obtenue par le durcissement en température de la résine qui imprègne les fibres de verre.

Une autre possibilité : enduit de résine et possédant une double paroi, le tissu de la Figure 7, fabriqué par la société Tissavel, est gonflé et fait preuve d'une rigidité remarquable qui lui permet de supporter des charges très importantes ; il sert par exemple à fabriquer des planchers, par exemple pour des bateaux gonflables, réalisés par la société Zodiac, ou encore dans de domaine de l'habitat.

Il existe un autre type de textile double paroi, qui possède deux couches tissées, reliées par un filament perpendiculairement aux deux plans (voir la Figure 26). Il possède la particularité de laisser passer les gaz, ce qui en fait un matériau

## DES FIBRES AUX ARMURES : L'ART DU TISSAGE, DES FIBRES NATURELLES AUX FIBRES SYNTHÉTIQUES

Dans la confection des textiles, selon la manière dont les fils s'entrecroiseront, on obtiendra une armure différente : toile, sergé ou satin (**Figure 5**).

L'armure **toile** est obtenue en soulevant alternativement les fils pairs et les fils impairs de la chaîne, pour laisser passage au fil de trame. Les tissus obtenus n'ont ni envers ni endroit. Citons les batistes, les calicots, les flanelles, les organdis, les cretonnes, le vichy ou encore le zéphyr.

Le **sergé** se caractérise par la présence de côtes obliques sur l'endroit et est uni sur l'envers. Il peut être à effet chaîne ou trame. Parmi les sergés, on trouve les amazones, les cheviottes, les gabardines, les pieds-de-poule, les twills ou encore les shetlands.

Le **satin** est un tissu fin et brillant sur l'endroit et mat à l'envers.



Figure 5

Flanelle, crétonne, twill, organdi, vichy, pied-de-poule (A : de gauche à droite) : les textiles, qu'ils soient toiles, sergés ou satins, peuvent être réalisés avec des fibres naturelles ou artificielles comme avec des fibres synthétiques ou inorganiques : fibres de verre, fibres de carbone ou fibres aramides (B).

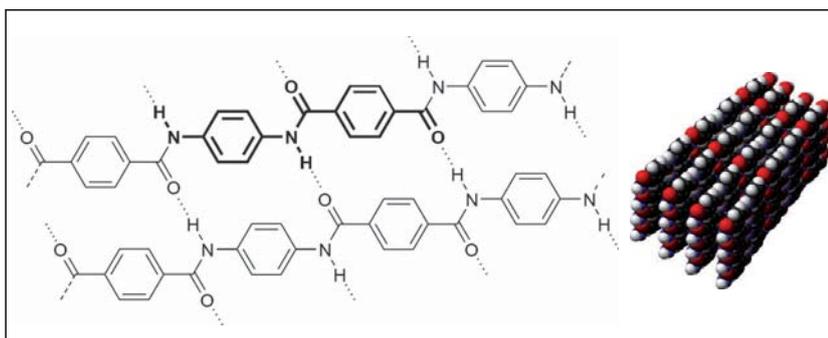


Figure 6

Structure chimique des chaînes (A) et représentation en trois dimensions (B) du Kevlar® (ou poly(p-phénylène téréphtalamide), première fibre aramide industrialisée).

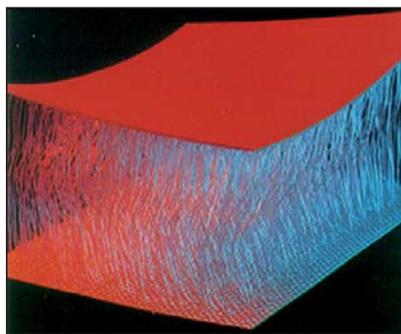


Figure 7

Un tissu double paroi gonflé supportant une charge d'une centaine de fois son propre poids.

respirant. Par ailleurs, son élasticité à la compression le rend résilient et donc idéal pour des matelas !

Ces remarquables propriétés font probablement de ces textiles synthétiques des matériaux pour le futur, dont certains pourraient remplacer des matériaux élastomères comme la mousse polyuréthane (voir le **Chapitre de J. Souvestre, Encart : « Des polymères synthétiques pour notre quotidien. Exemples du polystyrène et du polyuréthane »**).

### 1.3. Fonctionnaliser les textiles

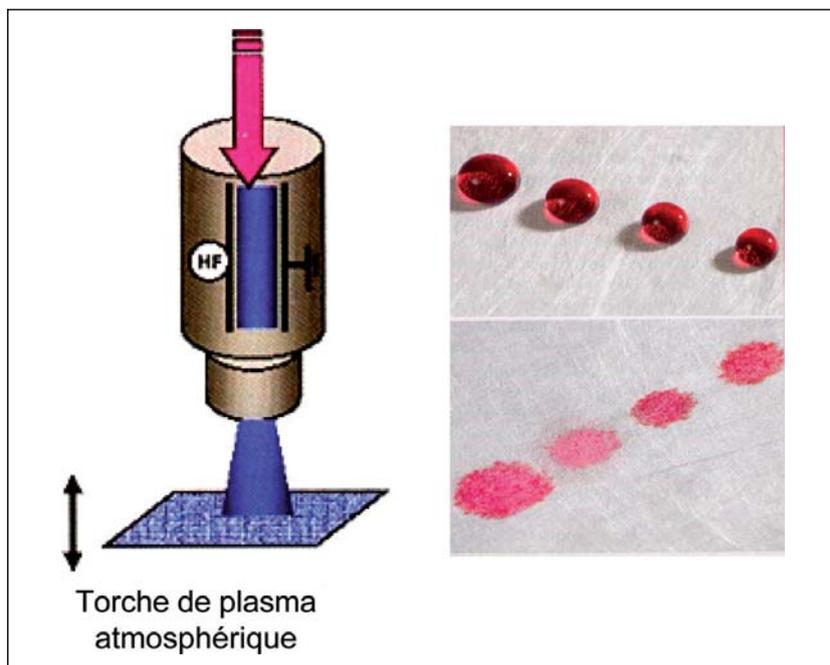
On peut encore aller plus loin pour obtenir d'autres propriétés des textiles à des fins d'usages de plus en plus précis. Les chimistes sont en effet capables de fonctionnaliser les fibres de manière à les rendre antibactériennes, anti-odeur, anti-acariens, antimites, anti-UV, hydrophobes, anti-tâches, résistantes au feu, régulatrices thermiques,

thermochromes<sup>4</sup> ou encore photochromes<sup>5</sup>, pour ne pas tout citer. Un autre point important est de pouvoir les rendre compatibles avec des résines au sein de matériaux composites.

Un exemple de technique est la fonctionnalisation par plasma<sup>6</sup> (en utilisant un gaz excité comme O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ou CF<sub>4</sub>, généré par des décharges électriques ou des ondes électromagnétiques HF. Voir aussi le **Chapitre de D. Lincot**). Cette technologie existe notamment dans l'industrie des plastiques et se développe maintenant dans le textile. Elle est utilisée pour faire du décapage, des modifications de surface ou du greffage (ajout de groupements chimiques). Par exemple des modifications de surface par un gaz ionisé permettent d'améliorer la mouillabilité et l'adhésivité du textile (**Figure 8** et voir le paragraphe 2.3).

Figure 8

Fonctionnalisation du textile par le plasma : des modifications de surface (1-5 nm) par gaz ionisé permettent d'améliorer la mouillabilité et l'adhésivité du textile.



## 2 Les textiles multifonctionnels pour de multiples applications

Les textiles, utilisés seuls ou en composites, trouvent de nombreuses applications.

4. Un matériau thermochrome est capable de changer de couleur en fonction de la température.

5. Un matériau photochrome a une teinte qui varie en fonction des changements de l'intensité lumineuse ambiante.

6. Le plasma est un état de la matière constitué partiellement ou totalement de particules ionisées mais globalement neutre.

On en différencie deux catégories, en fonction de l'utilisation : pour le gros œuvre, qui concourt à la solidité des édifices (gros murs, poteaux, planchers, charpentes, etc.) et pour le second œuvre (couvertures de toits, enduits de façades, bardage, menuiseries, portes et fenêtres, isolation thermique et acoustique, plafonds, etc.).

Par exemple, certains ouvrages d'arts, atteints par le vieillissement dû à la corrosion des armatures métalliques soumises aux intempéries, sont renforcés par des textiles composites. Les câbles de haubannage de ponts, en acier, peuvent être remplacés par des torons de fils carbone en composite. Des grilles de verre renforcent les enduits de façades des systèmes d'isolation par l'extérieur. Elles ont l'avantage d'être imputrescibles. Les tissus enduits sont à la base d'une véritable architecture textile, permettant de réaliser des toitures et des structures de couvertures légères et élégantes pour des stades, des halls d'aéroport ou de gare. Pour le second œuvre, on trouve des revêtements de murs, des toiles de verre à peindre, des écrans solaires extérieurs ou intérieurs, des cloisons de séparation, des parois anti-bruit, des auvents, des abris, des toiles événementielles, des textiles conducteurs pour salles à risques liés à la présence d'électricité statique, pour ne pas tout citer.

Pour quelles fonctions et quelles qualités ces textiles sont-ils utilisés dans le bâtiment ?

## 2.1. La fonction mécanique

Du fait de propriétés mécaniques exceptionnelles que l'on peut obtenir avec des textiles, ceux-ci trouvent des applications importantes dans la construction, notamment au sein de matériaux composites.

### 2.1.1. Propriétés en traction

Un des atouts majeurs des textiles synthétiques est leur faible masse volumique, en comparaison avec celle de matériaux comme le verre et l'acier (**Tableau 1**), et leur grande résistance à la traction (**Tableau 1** et **Figure 9**). Ces textiles peuvent ainsi être utilisés pour réaliser des architectures tensibles (voir le paragraphe 2.1.4), des enduits de façades ou encore la réparation d'ouvrages d'art.

**Tableau 1**

*Masse volumique des fibres.*

*Elle permet de calculer le module d'élasticité spécifique (en Newton par tex) :  $E_{sp} = E/\rho$ , où  $E$  est le module spécifique (en GPa) et  $\rho$  la masse volumique de la fibre (en  $g/cm^3$ ).*

Fibre	Masse volumique ( $g/cm^3$ )
Polypropylène (PP)	0,91
Polyéthylène haute ténacité (PE HT)	0,97
Polyamide 66 (PA 66)	1,14
Polyester (PET)	1,38
Polyester aromatique (PEAr)	1,40
Aramide haut module (aramide HM)	1,44
Polyazole (PBO)	1,55
Polyazole (M5)	1,70
Carbone haute résistance (carbone HR)	1,80
Verre E	2,60
Acier	7,80

Figure 9

Résistance à la rupture spécifique (ou ténacité, en Newton par tex) :  $R_{sp} = R/\rho$ , où  $R$  est en GPa (1 GPa = 109 N/m<sup>2</sup>).

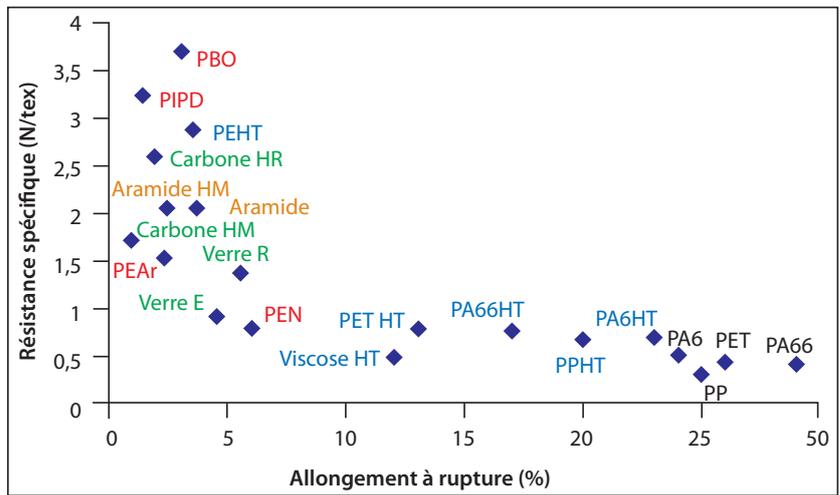


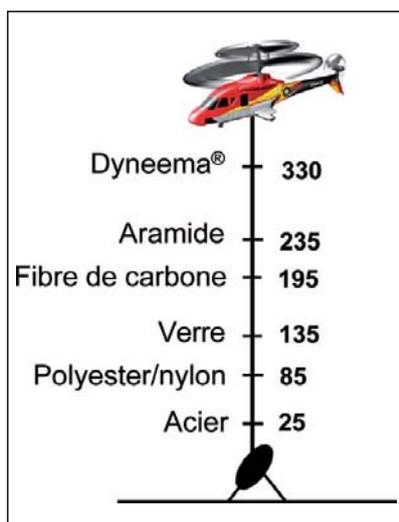
Tableau 2

Résistance kilométrique (en km) de différents types de fibres.

Nanotube de carbone théorique	4 700
Polyazole (PBO)	375
Polyéthylène haute ténacité (PE HT)	330
Aramide	235
Polyester aromatique (PEAr)	195
Carbone	195
Verre E	135
Polyamide 66/Polyester (PA 66/PET)	85
Acier	25

Figure 10

Test de résistance kilométrique des différents types de fibres.



### 2.1.2. Résistance kilométrique

Un autre atout de ces fibres est leur résistance kilométrique, correspondant à la longueur à laquelle le fil se rompt sous son propre poids. Par exemple, un fil de polyamide comme le nylon va rompre sous son propre poids à 85 km de longueur, tandis qu'un verre rompt à 135 km. Une fibre de polyéthylène haute ténacité (à haut poids moléculaire) appelée dyneema® atteint 330 km de résistance kilométrique. Il s'agit d'un polyéthylène extrêmement résistant, utilisé notamment pour fabriquer des sangles, cordes et cordelettes dont celles destinées à la pratique de la voile (Figure 10 et Tableau 2).

De manière hypothétique, la résistance kilométrique a été évaluée à 4 700 km pour des fils qui seraient en nanotubes de carbone<sup>7</sup>. On ne sait pas, actuellement, réaliser de tels fils mais ces matériaux très légers, bien qu'encore coûteux, sont amenés à connaître un développement fantastique. Il y a dix ans, on produisait des nanotubes de carbone au niveau de quelques grammes, tandis qu'actuellement, on en produit annuellement des dizaines

7. Un nanotube de carbone est une structure cristalline, de forme tubulaire, creuse et close, composée d'atomes de carbone disposés régulièrement en pentagones, hexagones et/ou heptagones (voir la conclusion du Chapitre de J.-P. Viguier).

voire des centaines de tonnes dans le monde. Ils sont produits en France par plusieurs sociétés comme Arkema (quelques dizaines de tonnes en 2011). Avec une résistance kilométrique aussi forte, des fils en nanotubes de carbone pourraient permettre la réalisation futuriste d'ascenseurs spatiaux. La **Figure 11** montre en image de synthèse un satellite géostationnaire qui gravite à 1 000 km de la Terre, tenu par un assemblage de fils en nanotubes de carbone.

La **Figure 12** compare les propriétés mécaniques de fibres naturelles. Elle met en évidence une résistance importante pour le lin, voisine de celle de la fibre de verre.

### 2.1.3. La compatibilité entre fibre et résine dans les matériaux composites

Les matériaux composites, du fait de propriétés exceptionnelles qui peuvent être atteintes grâce à l'ingéniosité des chimistes qui les conçoivent, sont de plus en plus utilisés dans l'habitat (voir aussi les **Chapitres de P. Hamelin** et de **J.-P. Viguier**). Une des applications les plus anciennes de composites est la construction en pisé<sup>8</sup>, matériau très solide, typique des régions lyonnaise et dauphinoise. Dans des temps plus anciens, il fut utilisé par les Égyptiens, ainsi que dans le

8. Le pisé est un système constructif en terre crue, comme la bauge ou le torchis, mis en œuvre dans des coffrages, traditionnellement appelés banches. La terre est idéalement graveleuse et argileuse, mais on trouve souvent des constructions en pisé réalisées avec des terres fines.



Figure 11

Des fibres de nanotubes de carbone pourraient permettre de construire un véritable ascenseur spatial !

palais impérial à Kyoto, où il comporte un renfort en paille (à propos de la paille, voir le **Chapitre de J.-C. Bernier**).

Un matériau composite est constitué d'une ossature appelée **renfort** qui assure la tenue mécanique – par exemple des fibres de verre ou de carbone – et d'une pro-

Figure 12

La résistance des fibres naturelles.

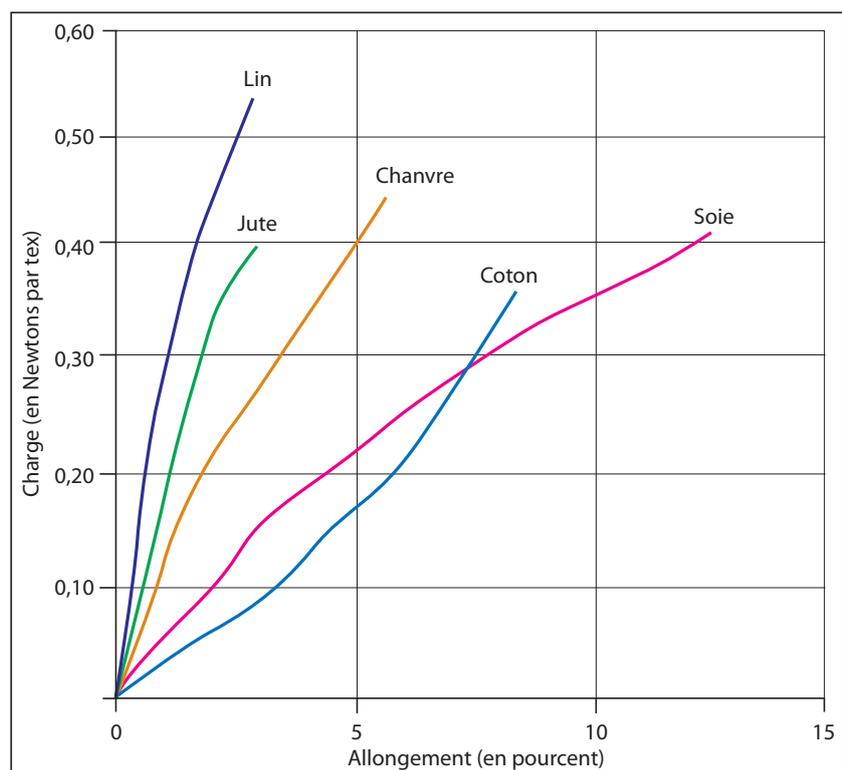
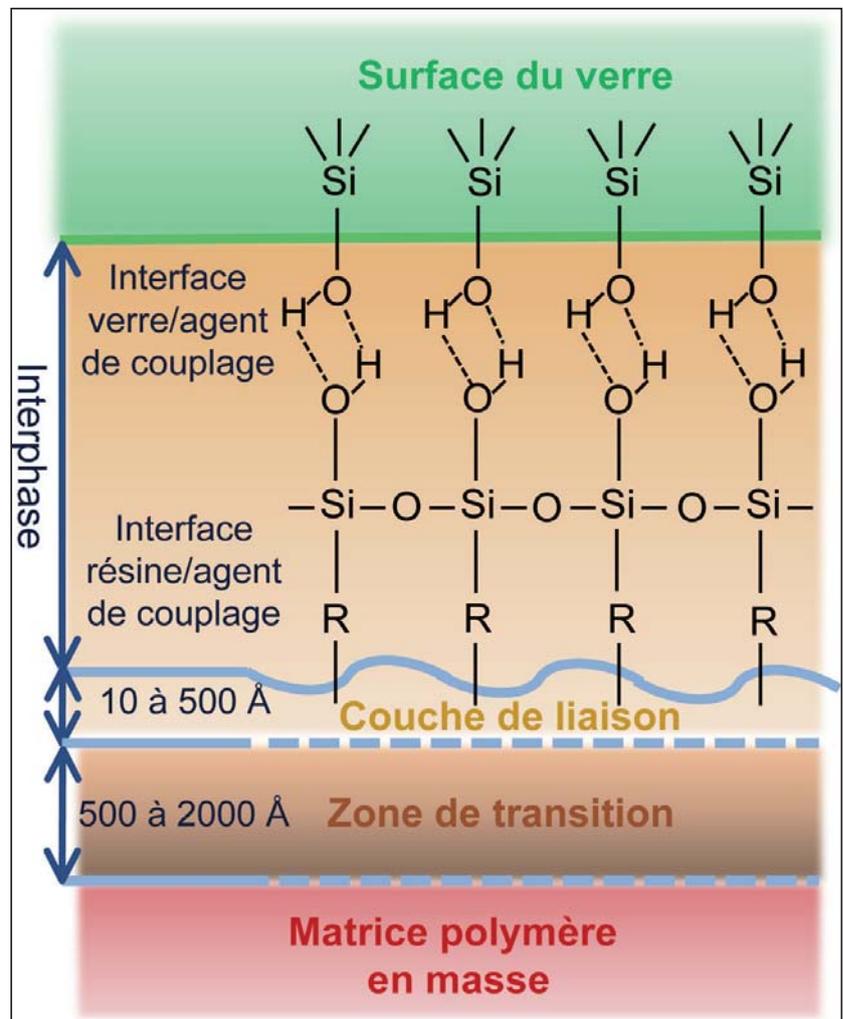




Figure 13

Pour fabriquer un bon composite, il faut assurer une bonne adhésion entre la fibre (A : en vert, une fibre de verre) et la résine (B : en rouge). Pour favoriser cette adhésion, on peut réaliser un traitement chimique de surface en ajoutant un agent de couplage qui assure un bon collage entre le renfort (ici : fibre de verre) et la matrice (ici une résine).



tection appelée **matrice**, qui est généralement une matière plastique – résine thermoplastique ou thermodurcissable – et qui assure la cohésion de la structure et la retransmission des efforts vers le renfort. Pour obtenir un composite solide, il faut assurer une bonne adhésion entre la fibre et la résine (Figure 13). Pour favoriser cette adhésion, on est souvent amené à bâtir des couches intermédiaires entre les deux, en réalisant des traitements de surface. Pour cela, il existe des techniques bien connues des chimistes qui produisent des fibres de verre, ainsi que des tisseurs. Au cours de ces traitements, sont définis différents paramètres : l'accessibilité du réseau fibreux par la résine (qui dépend de la porosité du réseau fibreux et de la fluidité/viscosité de la résine), la

mouillabilité, la solubilité, la compatibilité, la diffusion et la réactivité, l'adhérence/adhésion (par ancrage mécanique ou par liaison chimique).

#### 2.1.4. Utilisation dans les architectures tensibles

Les textiles synthétiques qui sont à la fois solides, légers et étirables trouvent une application intéressante dans les architectures tensibles, en particulier pour des toitures (voir le **Chapitre de J.-P. Viguier**), des structures de couvertures pour les stades, ou encore des halls d'aéroports ou de gares. Citons le stade Charléty à Paris, les stades de Reims et de Lyon, ou encore le stade de Foshan en Chine (Figure 14). Ces structures sont souvent réalisées à partir de tissus polyesters enduits de polychlorure de vinyle (PVC) avec des traitements de surface antisalissure.

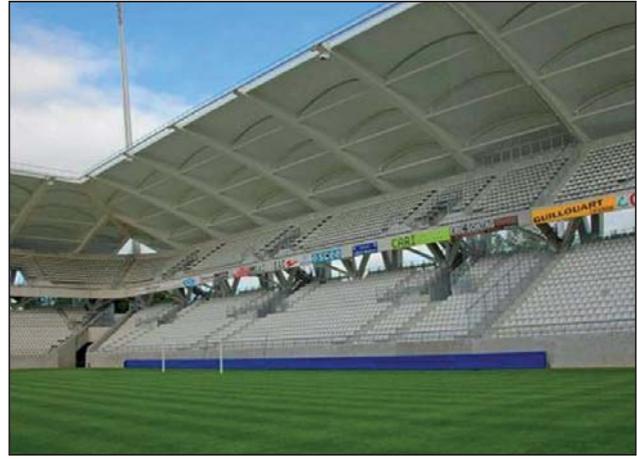
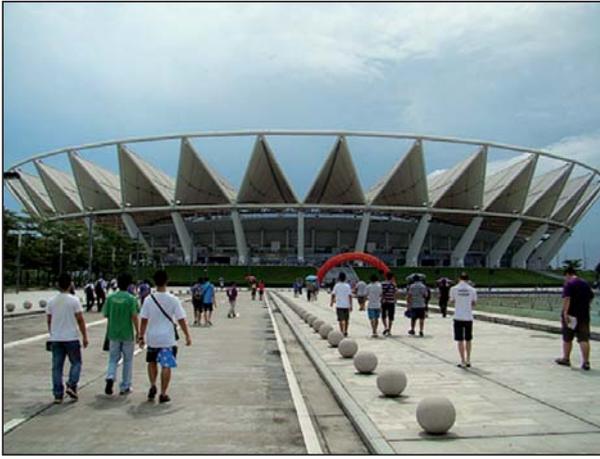


Figure 14

Des architectures tensibles : de nombreux stades possèdent des toitures en tissus polyester enduits de PVC avec traitement de surface antialissure.

Photos : à gauche le stade de Foshan (Chine) et à droite le stade de Reims (France).

La durabilité de ces membranes est très grande, comme en témoignent un certain nombre d'ouvrages qui ont déjà plus de trente ans d'existence.

Fabricant de textiles techniques, la société Ferrari possède un savoir-faire dans ce type de matériaux, grâce entre autres à sa technologie Précontraint® Ferrari®, qui lui permet de procéder à une opération d'enduction<sup>9</sup> sous une tension d'une tonne par mètre exercée en chaîne et trame, donc dans les deux dimensions, pendant tout le cycle de fabrication. Ceci confère au textile à la fois stabilité dimensionnelle et résistance (Figure 15). L'épaisseur de la couche d'enduction protège les fils de l'abrasion et des agressions climatiques, et le faible embuvage<sup>10</sup> des fils accroît la durabilité de l'architecture. On obtient ainsi des armatures tissées en fils polyester haute ténacité, recouvertes par enduction de plusieurs couches de poly-

mère et d'une couche de surface hydrophobe.

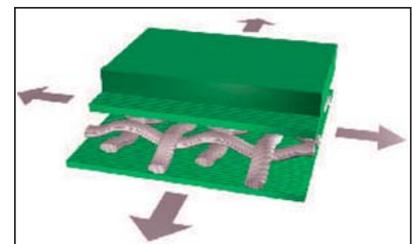
### 2.1.5. Le recyclage des textiles enduits

En plus de leur durabilité dans le sens classique du terme, à savoir leur solidité dans le temps et par tout temps, les textiles techniques doivent aussi répondre à des exigences de durabilité au sens du « développement durable », mentionné dans le **Chapitre d'A. Ehlacher**, c'est-à-dire être recyclables en fin de vie par exemple, notamment pour des applications à plus court terme que celles du bâtiment. Dans ce domaine, des innovations existent, parmi lesquelles on peut citer le procédé Texyloop®, initié par le groupe Ferrari, qui permet de réutiliser les fibres ainsi que la résine d'enduction. Au cours de ce procédé, une membrane textile (par exemple un composite polyester/PVC) est d'abord broyée, avant de subir une dissolution sélective (le PVC est soluble, le polyester ne l'est pas). Dans un autre réacteur, le PVC est précipité pour fournir des granulés réutilisables dans un procédé d'extrusion, tandis que l'on récupère par ailleurs la fibre polyester, elle-même réutilisable (Figure 16).

Une autre voie de recyclage est utilisée pour récupérer

Figure 15

Tissu constitué de fils de polyester, recouvert de deux couches de PVC et d'une couche terminale antialissure, fabriqué par la technologie Précontraint® Ferrari®. Une tension biaxiale bien contrôlée est exercée, au cours de laquelle l'armature est traitée pour la protéger des agents atmosphériques. On obtient ainsi des toiles à la fois légères et très résistantes mécaniquement. Des bâtiments textiles en membranes Précontraint® ont été installés dès 1982 : un état des lieux a révélé une longévité largement supérieure à vingt ans.



9. L'enduction est un traitement de surface qui consiste à appliquer un revêtement généralement pâteux sur le textile.

10. L'embuvage désigne la relation entre la longueur d'un tissu et la longueur du fil qui est nécessaire pour faire le tissage. Plus le tissage est dense plus l'embuvage est grand. L'embuvage est de 0 % quand le fil est tendu.

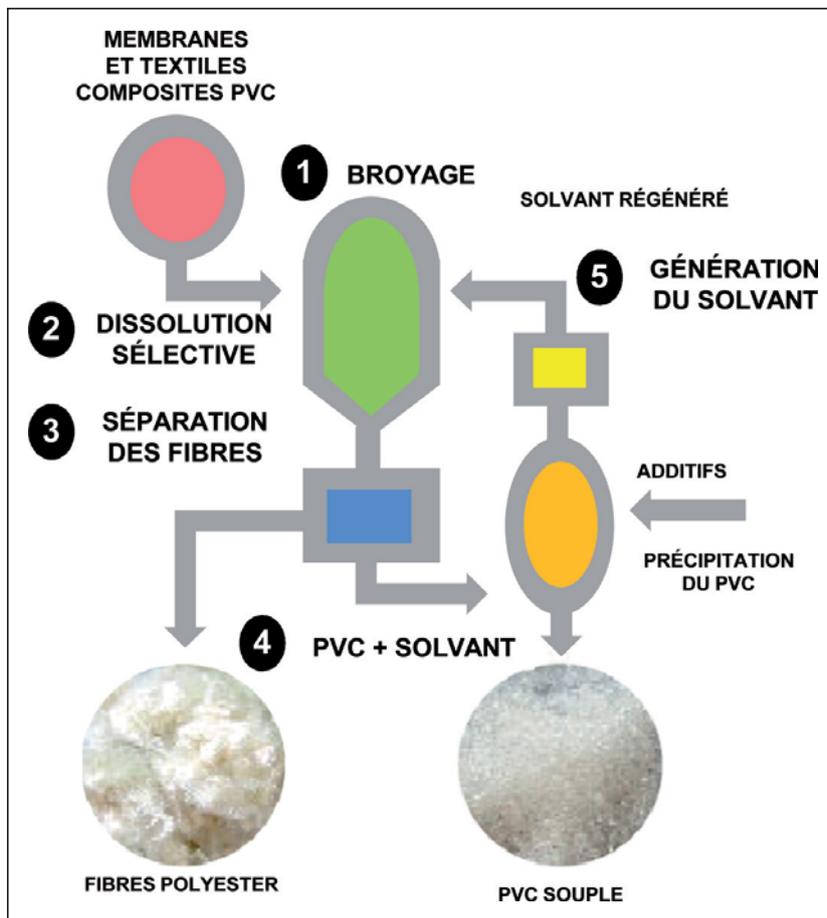


Figure 16

Recyclage textiles enduits selon le procédé Texyloop® de la société Ferrari.

Figure 17

Des bâches publicitaires usagées sont réutilisées pour créer des sacoches originales et très appréciées. Au lieu d'incinérer ces textiles en PVC (l'incinération conduit à des rejets de dioxine), on peut judicieusement leur donner une seconde vie.



les textiles enduits en fin de vie, en réalisant des poufs ou des sacoches de styles très variés, tous différents et très appréciés (Figure 17). Tous ces produits peuvent, en fin de vie, eux-mêmes être renvoyés aux fabricants qui vont les réutiliser.

## 2.2. La fonction isolation thermique

Les textiles jouent un rôle également important dans l'isolation des bâtiments. À côté des matelas en fibres de verre utilisés pour l'isolation

thermique (Figure 18A), les matelas de lin sont très à la mode parmi les fibres naturelles (Figure 18B). Il est également possible de fabriquer des composites renforcés par du lin, par exemple pour des panneaux intérieurs de portes de voitures, réalisées en composite lin/résine.

## 2.3. Les fonctions de protection

Une autre fonction importante des textiles est la fonction protection : contre les rayonnements solaires, les rayonnements électromagnétiques, le feu, l'électricité statique, mais aussi la protection antisismique.

### 2.3.1. Les rayonnements solaires

Pour filtrer les rayonnements solaires, des textiles techniques peuvent être utilisés en tant que stores (Figure 19). Mais on peut aussi profiter de ces rayons pour produire de l'électricité (voir aussi les Chapitres de D. Lincot, D. Plée et D. Quénard). C'est dans ce but qu'ont été développées des couvertures textiles photovoltaïques par les sociétés Coatema et Solar integrated (Figure 20). Citons également les stores avec cellules photovoltaïques, souples et très fins, à base de silicium amorphe, fabriqués par la société Dickson, et qui peuvent produire 400 kW pour 25 m<sup>2</sup> de stores (Figure 21).

### 2.3.2. Les rayonnements électromagnétiques

On peut aussi utiliser le textile dans la construction pour se protéger contre les



Figure 18

A) Les matelas de laine de verre apportent de l'isolation thermique dans l'habitat. Ils sont généralement renforcés par un tissu de verre sur une face ;  
 B) Des fibres naturelles comme les fibres de lin peuvent être une excellente alternative aux fibres de verre pour l'isolation.

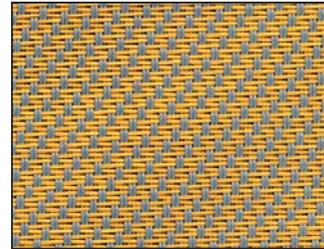


Figure 19

Des stores intérieurs et extérieurs en fils de verre enduit de PVC, tissés avec une armure spéciale.

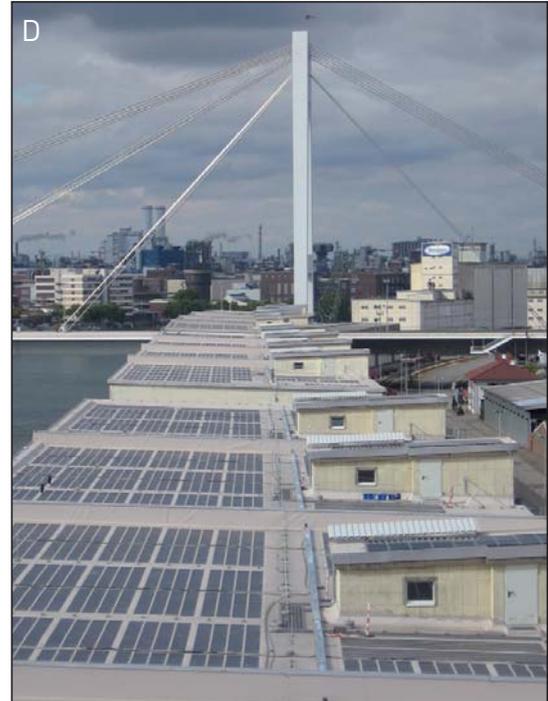
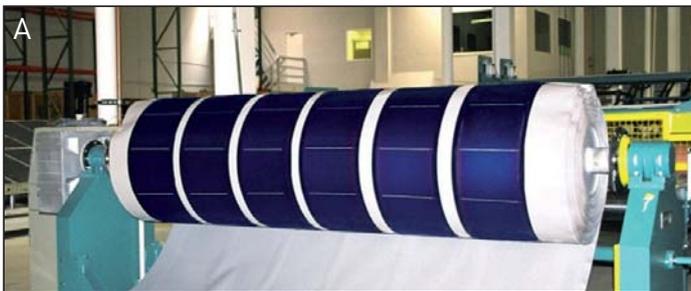


Figure 20

Des couvertures textiles photovoltaïques pour des toits (B : sur un bâtiment d'usine en Italie, D : sur l'Autorité portuaire de Mannheim, en Allemagne).



**Figure 21**

La première toile de store photovoltaïque chez Dickson (2009). Cette toile de store solaire intègre des cellules photovoltaïques souples et ultrafines (silicium amorphe). Pour 25 m<sup>2</sup> de store avec une production de 400 kWh par an, le coût de départ est entre deux et trois fois celui d'un store classique, rentabilisé sous sept ans.

rayonnements électromagnétiques. C'est ainsi que les sociétés Tissavel et Euro-Shelter ont conçu un tissu en trois dimensions à base de nickel capable de stopper ces ondes dans une large gamme de fréquences. C'est la géométrie des fils guipés de métal qui génère des champs électromagnétiques s'opposant à l'effet des champs incidents. La **Figure 22** montre leur structure comportant une double paroi qui réfléchit les rayonnements électromagnétiques. De tels textiles pourraient permettre, par exemple, d'éviter les réceptions téléphoniques dans des salles de cinéma ou des salles très confidentielles. Certains prévoient même des

applications dans les toiles de tentes paradisées, tandis que d'autres pensent à des emballages souples pour des matériaux sensibles, ou pour la protection de l'homme...

### 2.3.3. Le feu

Une autre fonction importante recherchée dans les textiles est la fonction ignifuge (**Figure 23**). Ignifuger une matière consiste à limiter son inflammabilité, soit en perturbant sa décomposition, soit en inhibant la flamme. Pour cela, il existe plusieurs techniques :

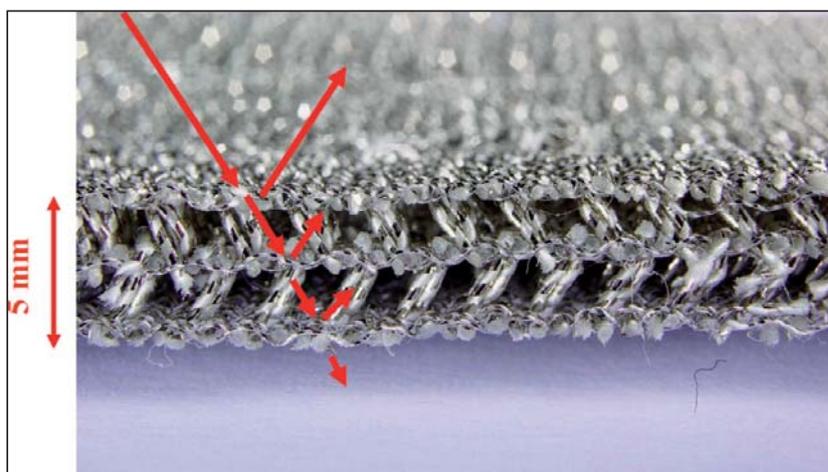
- en masse : modification de la matière première : un retardateur de flamme est introduit lors de la polymérisation, ce qui conduit à un effet permanent ;
- par traitement de la surface. Par exemple, pour le polyester : ajout de dérivés phosphorés réticulants qui permettent la permanence du traitement.

### 2.3.4. Les séismes

Une autre évolution intéressante concerne le textile antisismique. Il s'agit d'un textile constitué de câbles à fibres optiques qui incorpore des capteurs de mesure, permettant de détecter des effets antisismiques par rapport à

**Figure 22**

Dans un tissu triple paroi d'environ six millimètres d'épaisseur, la multiplication de couches de fils entrecroisés constitue une barrière métallique d'absorption et de réflexions multiples qui permet de bloquer les rayonnements électromagnétiques.



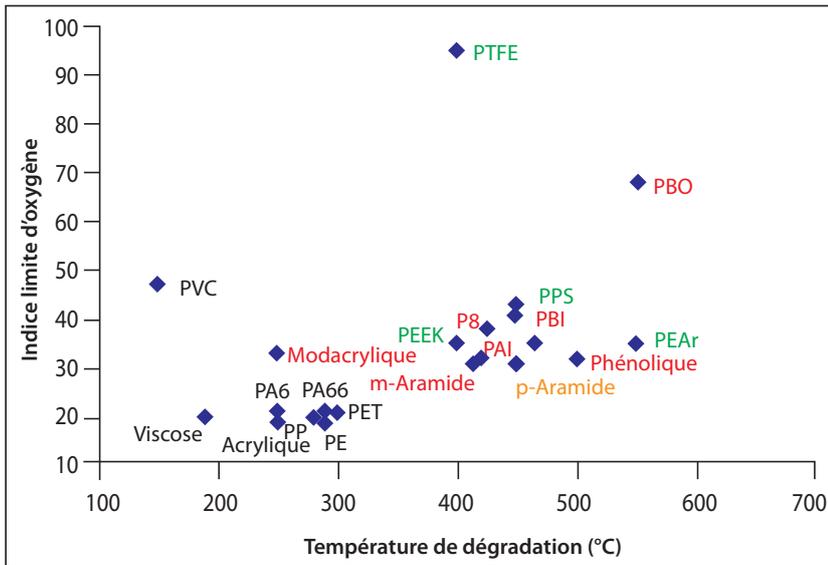
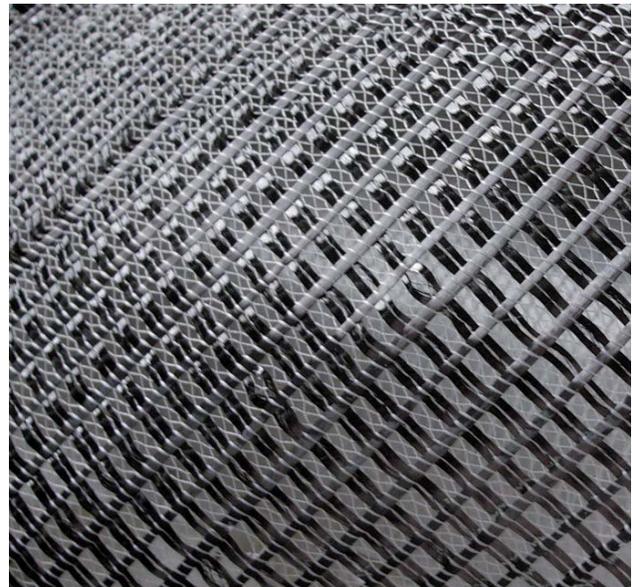


Figure 23

Comportement thermique des fibres organiques. L'indice limite d'oxygène est la concentration en oxygène minimale dans un mélange oxygène/azote qui permet d'entretenir la combustion d'un plastique en position verticale, avec un allumage en haut de l'échantillon. C'est ainsi que l'inflammabilité des matériaux est quantitativement caractérisée.



la situation où l'on se trouve. Ces matériaux peuvent donc être utilisés pour détecter les débuts de tremblements de terre afin de réagir au plus vite (Figure 24 et voir le **Chapitre d'après la conférence de P. Hamelin**).

### 2.3.5. L'étanchéité

D'autres technologies innovantes ont été développées pour fabriquer des membranes imper-respirantes, c'est-à-dire qu'elles permettent à la fois d'évacuer l'humidité (par exemple la transpiration) et d'empêcher l'eau de

pénétrer<sup>11</sup>. Ce type de membrane peut par exemple être utilisé sous les toitures. Leur mécanisme est similaire à celui du célèbre tissu Gore tex®, dont les microporosités permettent à l'eau et l'air de passer et les fibres hydrophobes le rendent imperméable à l'eau liquide (Figure 25).

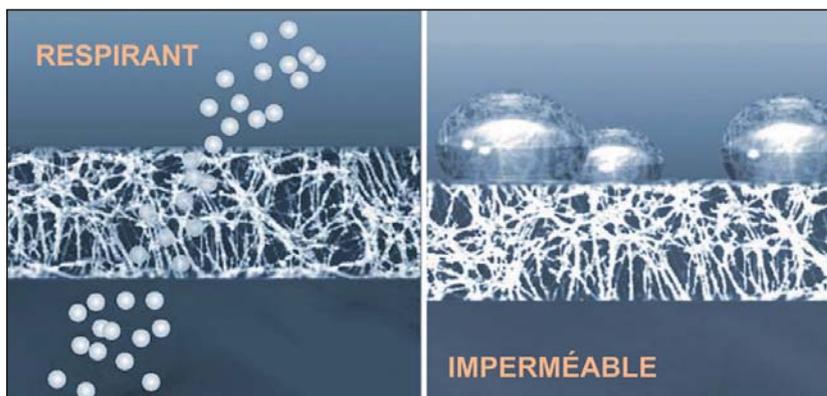
11. Voir aussi les applications pour le sport dans l'ouvrage *La chimie et le sport*. Chapitre de F. Roland. Coordonné par Minh-Thu Dinh-Audouin, Rose Agnès Jacquesy, Danièle Olivier et Paul Rigny, EDP Sciences, 2011.

Figure 24

Un revêtement mural textile antissismique « intelligent ». Le textile est constitué de câbles à fibres optiques et incorporant des capteurs de mesure (piézocéramiques nanocristallins). Appliqué avec du mortier amélioré par des additifs polymères à nanoparticules, il permet d'améliorer la résistance et la ductilité des structures et de les surveiller lors d'épisodes sismiques. Ce revêtement mural a été mis au point par la société D'Appolinia, qui a remporté le prix JEC Composites Innovation Awards 2010/Construction.

Figure 25

Les tissus Gore Tex®, membranes imper-respirantes garantissant une étanchéité quasi-parfaite.



#### 2.4. Le confort et la décoration

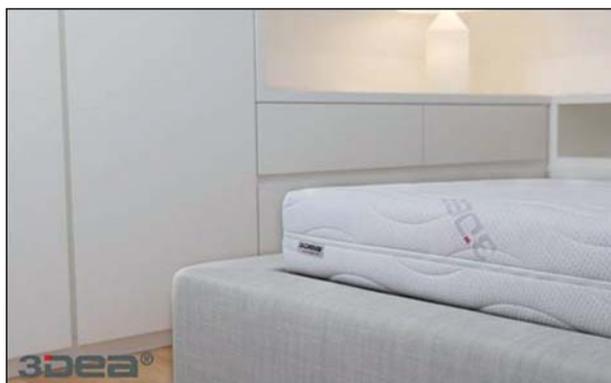
Passons au domaine du confort et de la décoration, où des textiles techniques peuvent trouver des usages intéressants, notamment lorsqu'ils sont antibactériens, absorbeurs d'odeurs, respirables et compressibles (par exemple pour des matelas, **Figure 26**), thermorégulants ou lumineux, et si possible esthétiques... pour ne pas citer toutes les qualités possibles de ces tissus. Ils peuvent

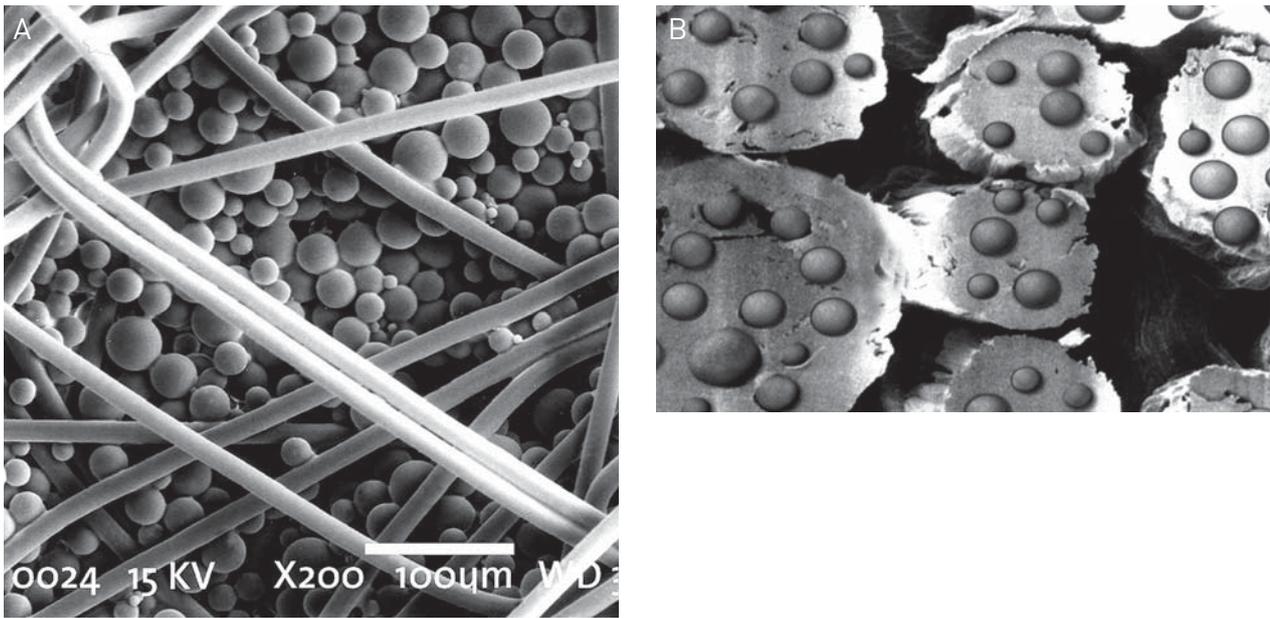
notamment remplacer des mousses polyuréthanes, qui sont beaucoup moins chères, mais néanmoins beaucoup plus dangereuses en cas d'incendie.

Des technologies très récentes permettent de fabriquer des textiles à changement de phase en leur ajoutant de petites capsules qui incorporent des matériaux à changement de phase (des paraffines) capables de stocker et de restituer l'énergie : une perspective de solution

Figure 26

Un textile double paroi pour le maximum de confort : respirabilité, compressibilité et résilience.





pour le stockage de l'énergie à grande échelle ? (**Figure 27**). Enfin, le domaine des nouveaux matériaux compte de nombreux autres développements. Citons les matériaux biomimétiques : on sait par exemple réaliser des matériaux ressemblant à la feuille de lotus grâce à une nanostructuration de la surface (par traitement plasma), conduisant à des tissus qui ne retiennent pas la salissure. Mentionnons également les

textiles éclairants qui peuvent trouver un usage dans les aménagements intérieurs, au niveau des plafonds, des cloisons, ou encore des porte-bagages, des sièges, des zones d'intercirculation ; ils peuvent aussi servir comme éclairage d'ambiance sur des éléments de cloisons pour le confort de passagers, pour des numérotation dynamique des places intégrées aux sièges... On peut finalement tout imaginer !

**Figure 27**

*Des textiles renfermant des microcapsules contenant des matériaux à changement de phases. Les capsules peuvent être incorporées en masse ou dans une couche de liant déposée par enduction (traitement de surface) sur le textile.*

*A) Enduction sur tissu sous le microscope ; B) fibre acrylique. Technologies Outlast®, vues microscopiques.*

## Une révolution en marche !

S'il est un secteur traditionnel de l'activité humaine, c'est bien celui du textile. Fibres animales (laine, soie) ou fibres végétales (le coton, le lin), la nature satisfaisait les principaux besoins. La chimie a fait une irruption remarquée dans le domaine au milieu du <sup>xx</sup>e siècle avec l'apparition des fibres synthétiques (rayonne, nylon) qui ont plu par leur faible coût, leur résistance et leur durée de vie. Aujourd'hui, la demande change – souci du confort, impératifs du développement durable – et la chimie se présente une nouvelle fois. Mais la chimie moderne, capable de concevoir des matériaux en fonction des propriétés demandées et de les réaliser. Ce sont les progrès de la chimie de synthèse, de l'analyse physico-chimique des propriétés qui sont sollicités avec la pluridisciplinarité et les nanotechnologies ; ils apportent aujourd'hui les matériaux fonctionnels et les matériaux composites. Cela provoque une véritable révolution qui, après l'industrie du vêtement, conquiert le domaine de la construction traditionnellement associé aux matériaux « durs » comme l'acier ou le béton. Cette évolution va continuer et tient sûrement encore de belles surprises en réserve.

# Crédits photographiques

Fig. 3A : Licence CC-BY-SA-2.5, Colocho.

Fig. 3B : Licence CC-BY-SA-2.0 de Morris, MN, USA.

Fig. 7 et 22 : [www.tissavel.fr](http://www.tissavel.fr)

Fig. 11 : Agence spatiale européenne (ESA).

Fig. 14A : Licence CC-BY-SA-3.0, Alexchen4836.

Fig. 18B : CELC MASTERS OF LINEN.

Fig. 19 : [www.porcher-ind.com](http://www.porcher-ind.com)

Fig. 20A : Coatema.

Fig. 20B, C et D : avec l'aimable autorisation de : [www.solarintegrated.com](http://www.solarintegrated.com).

Fig. 21 : [www.dickson-constant.com](http://www.dickson-constant.com)

Fig. 24 : FP6 EU Project Polytect ([www.polytect.net](http://www.polytect.net)) et D'Appolonia ([www.dappolonia.it](http://www.dappolonia.it)).