

qui ne modifie pas le comportement des fibres aux déformations. Cette capacité de récupération des liaisons physiques est probablement la cause de l'élasticité et de la résistance au choc des fibres de polymères.

La fibre M5 est prometteuse, parce que son module d'élongation, supérieur à 300 milliards de pascals, est bien supérieur à ceux des fibres de carbone haute ténacité aujourd'hui commercialisées. De plus, ses résistances aux contraintes sont au moins égales à celles des aramides. Les premiers essais de fibres M5 coulées dans une matrice de résines époxy ont montré une grande résistance à la

compression et une déformation plastique qui commence avec des contraintes supérieures à 1,7 milliard de pascals. Ce résultat confirme la relation théorique selon laquelle la résistance à la compression est environ trois fois inférieure au module de cisaillement. Avec une compression importante, les composés mixtes de résines époxy et de fibres M5 conservent le même aspect et procurent une résistance au choc comparable à celle des meilleures matières plastiques, elles aussi composées de polymères, disponibles sur le marché. En outre, nous avons souvent observé que le passage du laboratoire à la fabrica-

tion dans une usine pilote s'accompagne d'améliorations importantes des propriétés des fibres.

Des fibres de plus en plus performantes

Grâce à ses propriétés mécaniques et à la vitesse à laquelle elle est produite, la nouvelle fibre M5 concurrencera les fibres de carbone dans la plupart de leurs applications, notamment dans l'aérospatiale. Les fibres de carbone ne sont utilisées que pour des produits qui demandent beaucoup de soin et d'attention (fusées spatiales ou avions militaires), ou pour des produits dont l'endommagement est sans conséquences graves.

De surcroît, grâce à sa résistance électrique, cette nouvelle fibre sera certainement utilisée dans des domaines où les fibres de carbone présentent des problèmes ou sont inutilisables, telles l'électricité et l'électronique. Enfin, dans de nombreux matériaux, la forte polarité des fibres M5 leur confère une plus grande adhérence que les fibres de carbone.

La protection des gilets pare-balles est fondée sur une répartition extrêmement rapide de l'énergie d'impact du projectile sur une surface aussi étendue que possible du gilet sans qu'il y ait rupture de la fibre. Comme le carré de la vitesse de l'onde de déformation, qui transmet l'impact de la déformation sur tout le gilet, est proportionnel au rapport entre le module d'élasticité et la densité, les fibres utilisées requièrent un module et une résistance très élevés, une faible densité volumique et une forte résistance au choc. C'est le cas des fibres PBO et M5!

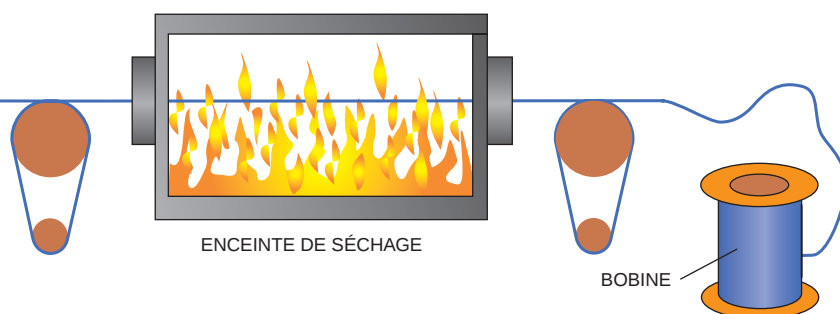
Une manipulation adroite des liaisons chimiques et physiques, la réduction des impuretés et l'amélioration de la régularité de la structure de la fibre augmenteront sans doute encore la qualité des fibres et des produits qui en dérivent, mais ils permettront aussi la mise au point de matériaux dont on n'aurait pas osé rêver il y a un siècle, ni même aujourd'hui.

L'élasticité

L'élasticité (E) d'une fibre de polymères est une fonction du module d'élasticité de la chaîne de polymère (e_c), du module de cisaillement des chaînes (ou des feuillets de graphite pour les fibres de carbone) les unes par rapport aux autres (g) et de l'angle que font ces chaînes avec l'axe principal de la fibre (θ).

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{e_c} + \frac{(\sin^2\theta)}{2g}$$

Fibres	Aramide	Carbone	PBO	M5
Module d'élasticité du polymère (e_c) (milliards de pascals)	240	900 - 1100	500	550
Module de cisaillement (g) (milliards de pascals)	1,5 - 2,7	14 - 30	1,0	6,0
Type de liaisons intermoléculaires	Hydrogène dans une direction et Van der Waals	Covalentes	Van der Waals	Hydrogène dans deux directions
Module d'élasticité de la fibre (E) (milliards de pascals)	115	230	280	330
Élongation (pour cent)	2	1,5	2,5	1,4
Résistance à la compression (milliards de pascals)	0,58	2,1	0,4	1,6
Déformation sous compression (pour cent)	0,5	0,9	0,15	0,5
Densité	1,45	1,8	1,56	1,7
Résistance aux chocs	+	--	++	++
Propriétés de tissage	+	-	+	+



Doetze SIKKEMA est chimiste des matières résistantes au Centre de recherches de la Société Akzo Nobel. Maurits NORTHOLT est physicien des matériaux résistants à la Société Acordis.

L'ennoblissement des textiles

PIERRE VIALIER

Après le tissage, les fabricants font subir de nombreux traitements aux tissus : teinture, nettoyage, apprêts... L'industrie de l'ennoblissement rationalise ces opérations en se fondant sur l'étude physico-chimique des fibres et des produits utilisés.

L'ennoblissement transforme un tissu brut, tombant du métier à tisser, en un matériau noble, apte à être confectionné et, surtout, ayant un toucher agréable. Naguère l'ennoblissement était effectué par des hommes de l'art, d'expérience. Aujourd'hui, il est assuré par une industrie spéciale, mais qui travaille, évidemment, à côté de l'industrie textile. Les procédés empiriques sont remplacés par des méthodes rationnelles, fondées sur une compréhension physico-chimique des transformations effectuées.

L'ennoblissement consiste en trois grandes familles de traitements : le nettoyage du tissu, pour ôter les substances étrangères (par exemple, les lubrifiants employés pendant les opérations de filature, de tissage, etc.) et les impuretés naturelles (cires du coton, suint de la laine, etc.) ; la coloration du textile, teinture ou impression ; les apprêts, qui confèrent au tissu des caractéristiques de toucher ou de résistance à des agents externes.

Nous examinerons ici, notamment, des méthodes pour rendre les tissus infroissables ou résistants aux moisissures. L'ignifugation, elle, relève à la fois de l'ennoblissement et de la conception des fibres. Toutefois le cas le mieux étudié est celui de la teinture, que nous considérerons d'abord.

La teinture n'est pas une peinture : en raison de l'usure des textiles, une coloration de la seule surface des fibres disparaîtrait trop rapidement. Pour éviter que le fond des culottes ne blanchisse, par exemple, on fait diffuser le colorant de sorte qu'il soit réparti de façon quasi homogène dans tout le volume des fibres.

Depuis longtemps, les chimistes sont mis à contribution pour mettre au point des molécules de colorant qui résistent à la lumière, au lavage, etc. Toutefois, depuis une trentaine d'années, le point de vue des ennoblisseurs a changé : ils cherchent à obtenir des produits non toxiques et non polluants qui donnent des résultats reproductibles. Nous verrons comment les physico-chimistes ont sélectionné les produits satisfaisant ces trois conditions.

Teinture à cœur

Les fils avec lesquels on confectionne les tissus sont composés de fibres généralement torsadées (les frottements entre fibres assurent la bonne tenue des fils). Chaque fibre est elle-même composée de microfibrilles, torsadées ou non, qui sont composées de macromolécules (voir la figure 2). Par exemple, le polymère du coton et du lin est la cellulose, composée par un enchaînement de molécules de glucose ; la différence entre les deux tient à la torsion des microfibrilles : torsadées dans le coton, elles sont parallèles dans le lin.

Enfin les macromolécules des microfibrilles forment des zones de polymère alternativement amorphes et cristallines : dans les zones cristallines, les macromolécules sont parallèles ; à l'extérieur de ces zones, encore nommées cristallites, les molécules sont désordonnées.

Les zones cristallines ne sont pas solubles dans l'eau, tandis que les zones amorphes le sont : les molécules étant désordonnées, peu de liaisons physiques s'établissent entre elles. Pour les dissoudre, on doit rompre peu de

liaisons. Ainsi, ce sont les zones cristallines qui structurent le matériau quand il est plongé dans les bains de teinture ; l'hydratation des zones amorphes provoque seulement un gonflement de la fibre.

Au total, chaque microfibrille est comme une ficelle dont les fibres seraient alternativement collées avec de la colle forte et avec de la colle à papier peint : dès qu'on la mouille, la «ficelle» devient pâteuse sur les sections «collées à la colle à papier peint», et elle se déforme. Nous reviendrons à cette structure particulière quand nous examinerons l'infroissabilité des tissus.

Les zones cristallines structurent les ficelles, mais, en solution, l'eau (et certaines des molécules qui y sont éventuellement dissoutes) diffuse jusqu'au cœur du matériau le long des joints entre les zones cristallines. Ce comportement caractéristique des matériaux polymères est exacerbé dans le cas des fibres textiles par le parallélisme et l'orientation des macromolécules (une fibre est filiforme). Dès que l'eau et les macromolécules en zone amorphe forment un «gel», le colorant peut diffuser dans la fibre, s'il est soluble ou si l'on peut le disperser dans l'eau.

Quelles molécules migrent-elles ainsi au cœur des fibres ? Aujourd'hui les chimistes ne cherchent plus à synthétiser de nouveaux colorants ; au contraire, ils suppriment des catalogues tous les colorants toxiques ou peu résistants au lavage ou à la lumière. Ainsi a disparu le célèbre rouge garance (voir *L'avènement des colorants synthétiques*, par Georges Bram et Nguyễn Trong Ahn, page 56), qui imposait l'usage d'un mordant contenant des métaux