

Les fibres artificielles résistantes

DOETZE SIKKEMA • MAURITS NORTHOLT

Grâce à la compréhension des mécanismes moléculaires qui régissent leur comportement, on met au point des fibres de plus en plus résistantes.

En 1892, trois chimistes anglais inventent la viscose à partir de la cellulose des végétaux dissoute dans une solution de soude, puis à nouveau cristallisée. Dans les années 1930, Wallace Carothers, chimiste de la Société Dupont de Nemours, crée la première fibre entièrement synthétique. Ces travaux précurseurs marquent le début de l'ère des fibres artificielles résistantes que l'on utilise aujourd'hui sous forme de câbles ou pour renforcer des matériaux divers, nommés alors composites, et des objets tel un gilet pare-balles.

Les fibres artificielles sont composées de polymères, c'est-à-dire de longues chaînes obtenues par liaison chimique de petites molécules, ou monomères. Pour être résistantes, elles doivent être rigides, solides et peu déformables. De plus, elles doivent tolérer les chocs, être légères, supporter les variations de température et adhérer aux matériaux qu'elles renforcent.

La plupart de ces qualités s'obtiennent par de nombreuses liaisons physiques et chimiques entre les chaînes de polymères ; ainsi, les forces se répartissent dans toute la fibre. Cependant,

la solidité d'une fibre résistante dépend aussi de l'alignement des liaisons chimiques du polymère le long de son axe. Plus les liaisons entre les monomères seront parallèles à l'axe de la fibre, plus elles résisteront à une traction. Ces contraintes sont dans tous les cahiers des charges des chimistes spécialisés dans la fabrication de fibres.

En outre, dans de nombreuses applications, par exemple l'aérospatiale, la qualité primordiale est la légèreté : les fibres résistantes doivent être composées d'atomes légers, tels ceux de carbone, d'hydrogène, d'azote et d'oxygène.

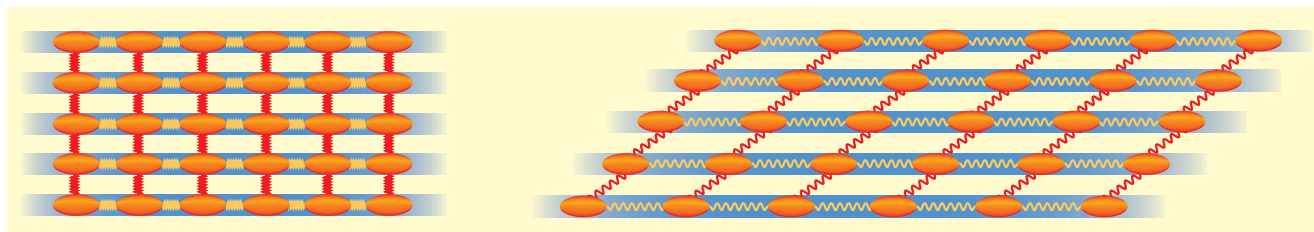
Depuis la découverte des polymères, les chimistes ont inventé des matériaux filables variés : nous étudierons les fibres de polyéthylène, d'aramide, de carbone et de polybenzobisoxazole, mises au point par l'armée de l'air américaine.

Toutefois, des progrès restent possibles. La conception de matériaux polymères organiques ayant des propriétés mécaniques déterminées impose la compréhension des fondements moléculaires des propriétés mécaniques. Quelques équipes,

notamment, étudient comment la structure moléculaire des fibres artificielles procure à ces dernières une résistance aux contraintes. Après avoir étudié leurs résultats, nous exposerons et comparerons les qualités des principales fibres disponibles. Enfin, nous décrirons la structure de la fibre M5, que nous avons récemment mise au point dans notre laboratoire, au Centre de recherche de la Société Akzo Nobel. Ses performances sont encore supérieures aux fibres précédemment citées.

La mécanique des fibres

À l'inverse de nombreux matériaux, tels les métaux et le caoutchouc, qui ont les mêmes propriétés quelle que soit la direction de la force qui s'exerce sur eux, les fibres artificielles réagissent différemment selon que la force est parallèle ou perpendiculaire à leur axe. Les chaînes de polymères sont beaucoup plus courtes que les fibres elles-mêmes : dans une fibre, la contrainte est transmise d'une chaîne moléculaire à une autre, parallèle et adjacente, par des liaisons physiques,



1. LES CHAÎNES DE POLYMÈRES D'UNE FIBRE RÉSISTANTE (en bleu) sont soumises à plusieurs contraintes lorsque la fibre est étirée : l'allongement des chaînes de polymères concerne les liaisons covalentes

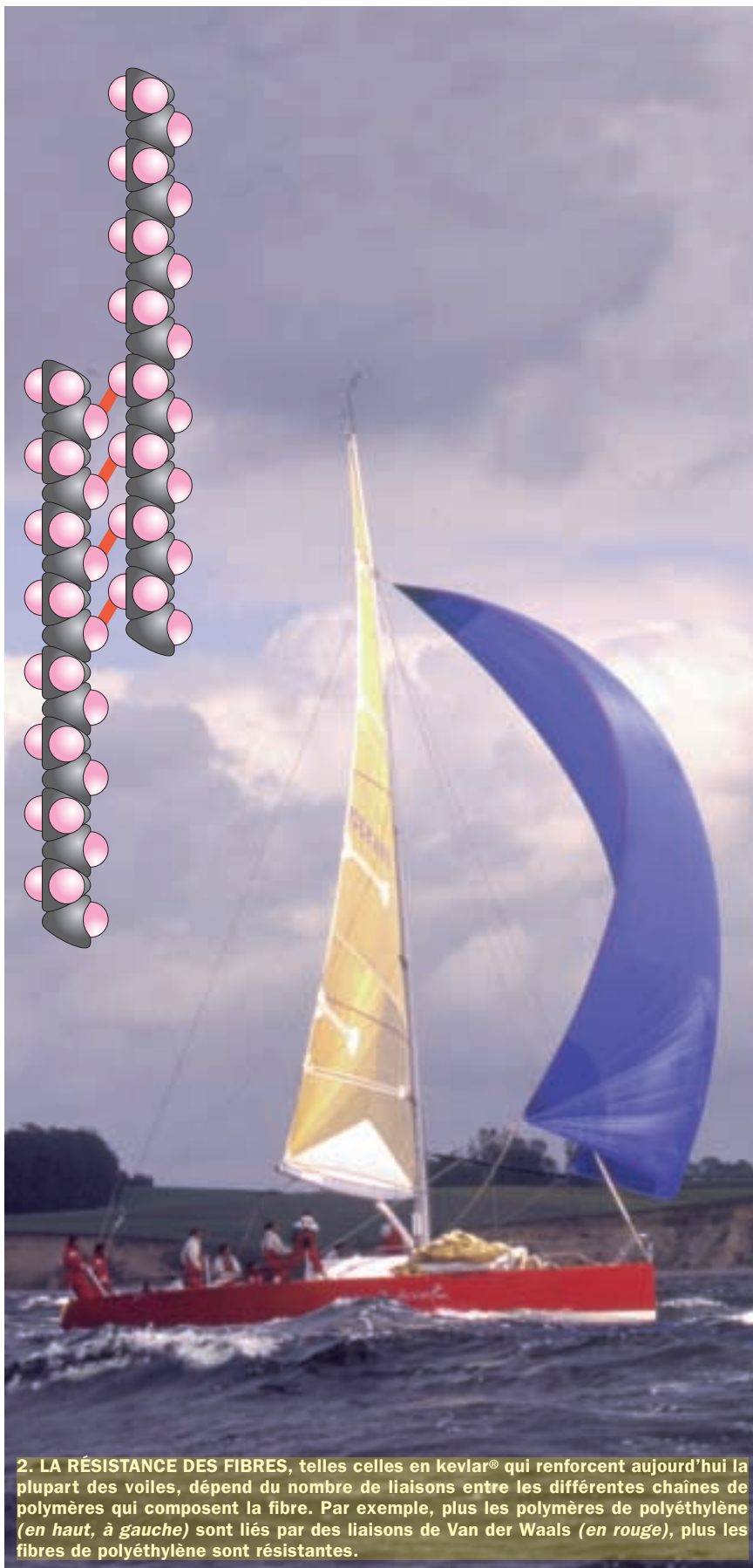
(en jaune) qui relient les monomères (en orange) du polymère, tandis que les forces de cisaillement s'appliquent sur les liaisons faibles (en rouge) qui joignent les chaînes de polymères.

plus faibles que les liaisons chimiques qui lient les atomes au sein des molécules. Plus ces liaisons physiques sont nombreuses, plus la force est répartie et plus la fibre est résistante. Ces liaisons physiques, dont la faiblesse permet la dissolution ou la fusion des polymères nécessaires au filage des fibres, comme nous le verrons plus loin, sont de deux types. Les liaisons hydrogène relient des atomes d'hydrogène à des atomes d'oxygène ou d'azote (dont certains électrons les plus externes ne sont pas engagés dans des liaisons chimiques). Les liaisons de Van der Waals, plus faibles encore, relient des atomes voisins dont les électrons ne sont pas uniformément répartis autour des noyaux : les dipôles électriques ainsi formés s'attirent.

Les fibres de carbone sont très différentes : elles sont formées de grandes nappes d'atomes de carbone disposés aux nœuds de réseaux hexagonaux orientés plus ou moins parallèlement à l'axe de la fibre. Ces nappes de graphite rigides s'étendent sur 5 à 100 nanomètres (milliardièmes de mètre). Elles sont reliées par des liaisons chimiques covalentes qui transmettent et répartissent l'effort appliqué sur la fibre.

Ces liaisons transverses confèrent aux fibres leur résistance aux contraintes de cisaillement, d'extension et de compression. Ces résistances, exprimées en pascals, sont mesurées par des modules qui décrivent la contrainte nécessaire pour produire une déformation d'une unité de la dimension considérée (diamètre, longueur...) : leurs valeurs révèlent la qualité des fibres (il s'agit d'une valeur calculée, car on effectue les mesures pour de très petites déformations). La résistance à la rupture, c'est-à-dire la contrainte au-delà de laquelle un matériau se rompt ou se fracture, rend également compte de la qualité d'une fibre. Cependant, sa valeur dépend de la longueur de l'échantillon testé, car les fibres contiennent toujours des défauts de fabrication qui concentrent les forces et provoquent une rupture (voir *Pourquoi les objets se cassent-ils ?*, par Mark Eberhart, *Pour la Science*, octobre 1999). Plus l'échantillon est long, plus la résistance à la rupture est faible.

Pendant la fabrication d'une fibre, les chaînes de polymères se forment.



2. LA RÉSISTANCE DES FIBRES, telles celles en kevlar® qui renforcent aujourd'hui la plupart des voiles, dépend du nombre de liaisons entre les différentes chaînes de polymères qui composent la fibre. Par exemple, plus les polymères de polyéthylène (en haut, à gauche) sont liés par des liaisons de Van der Waals (en rouge), plus les fibres de polyéthylène sont résistantes.

Sea and See, C. Borlenghi