

de lin par an (et 1,2 million de tonnes de fibres de verre). Parmi les fibres végétales, la fibre de lin est la plus solide, mais elle revient 30 pour cent plus cher que la fibre de verre, sans tenir compte des fluctuations des cours, durant les dernières décennies.

Les traitements des fibres naturelles déterminent le prix et la qualité de ces fibres. Comme leurs propriétés sont plus hétérogènes que celles des fibres synthétiques, on les uniformise par délignification ou par dégomme, c'est-à-dire qu'on élimine la couche adhésive qui entoure les fibres. D'autres traitements agissent sur les propriétés structurales des fibres, pour améliorer leurs caractéristiques mécaniques, et sur leur état de surface, pour accroître leur adhérence à une matrice polymère, les rendre imperméables et ininflammables (les fibres de verre sont également enrobées de composés qui améliorent leur adhérence à la matrice, mais ce traitement est moins cher que le précédent).

On ne remplace donc pas les fibres de verre par des fibres naturelles pour faire des économies, mais parce que les matières premières renouvelables ont des avantages écologiques : elles font un meilleur emploi des ressources et conduisent à un dégagement réduit de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, puisque la combustion des fibres naturelles ne produit qu'une quantité de dioxyde de carbone égale à celle que la plante a absorbée pendant sa croissance. Enfin les objets en composites à fibres naturelles sont plus faciles à recycler. Si leur matrice était biodégradable, ils pourraient même servir de compost.

Des systèmes structurés

Les fibres végétales ont toutes une composition chimique comparable : elles contiennent de 60 à 85 pour cent de cellulose, des hémicelluloses, de la lignine et des pectines. Les proportions dépendent des conditions de croissance, notamment météorologiques, de l'âge des fibres et du traitement de délignification.

L'organisation structurale de leurs constituants détermine leurs propriétés mécaniques. En général, les cellules d'un filament de fibre végétale sont organisées en plusieurs couches, dont chacune

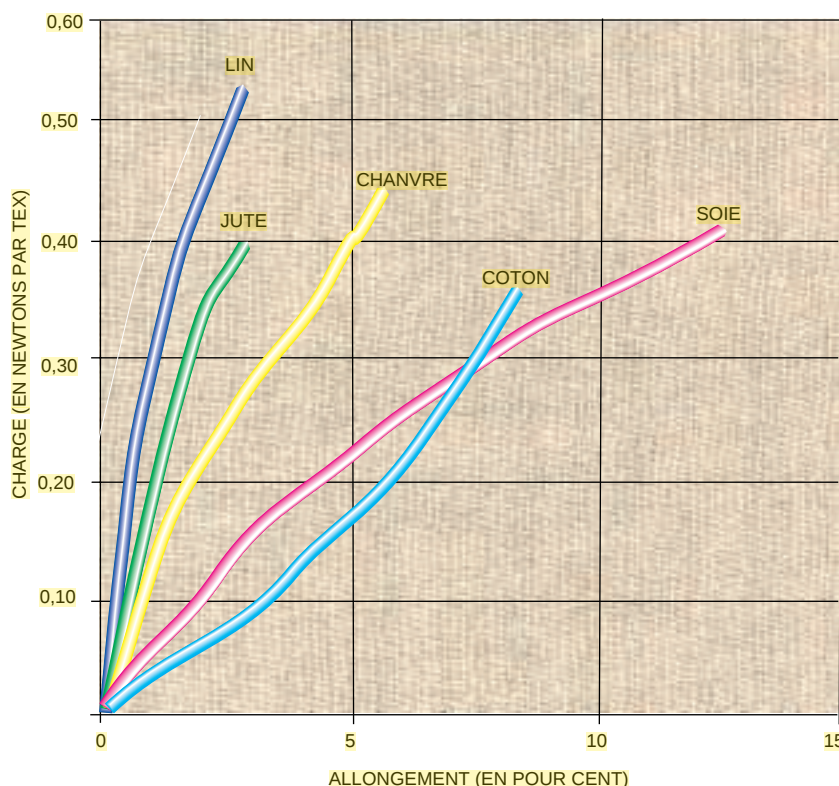
renferme des domaines cristallins (ordonnés) de cellulose, séparés par de la lignine et par des hémicelluloses formant des zones amorphes. Les cellules de la plupart des plantes à fibres ont quatre parois concentriques : la paroi primaire et trois parois secondaires (voir la figure 1). Dans la dernière, l'agencement et l'orientation des domaines de cellulose déterminent les caractéristiques mécaniques des fibres (voir la figure 2). D'autres caractéristiques déterminent les propriétés mécaniques des fibres : le degré de polymérisation, la cristallinité (selon le type de cellulose), l'orientation des chaînes de polymère dans les domaines cristallins et amorphes, ainsi que le nombre et la taille des pores de la paroi végétale. En général, les fibres végétales sont deux fois moins denses que les fibres de verre, mais elles sont aussi solides et rigides.

Comme la qualité des composites dépend notamment de l'adhérence des fibres à la matrice, on l'améliore en enrobant les fibres par des composés qui ont deux parties : l'une se lie à la surface des fibres, tandis que l'autre se lie à la matrice. Les silanes, l'acide maléique anhydre et le polyméthylène-

polyphényle-isocyanate sont de tels composés de liaison. On peut aussi rendre la surface des fibres plus réactive en la bombardant par des ions de haute énergie (traitements par plasmas). On double ainsi les modules qui mesurent les propriétés mécaniques de certains composites.

À la recherche de stabilité

Les fibres naturelles sont biodégradables. C'est un avantage, pour le recyclage des composites qui en contiennent, mais c'est un inconvénient au moment de la fabrication. Les acides, les bases et les rayonnements ultraviolets détruisent la cohésion des fibres naturelles. Les enzymes digèrent les fibres de cellulose en l'espace de six mois à un an. Ce délai peut être porté à deux ans par certains traitements, sans dégradation des caractéristiques mécaniques des fibres. Un stockage dans un endroit sec permet même d'atteindre deux ans et demi, avec une réduction minime de la solidité et de l'allongement à la rupture. Le sisal donne des fibres légèrement plus stables qu'une autre sorte d'agave



2. COURBES D'ALLONGEMENT en traction de fibres naturelles. La charge maximale que supportent les fibres dépend de leur masse par unité de longueur. Celle-ci est exprimée en tex, une unité qui correspond à la masse, en grammes, d'un kilomètre de fibre.

Institut für Werkstofftechnik, Universität Gesamthochschule Kassel/ Spektrum der Wissenschaft

DES CAILLOUX DANS LES CHOSSES SÛRES

DIDIER NORDON

Des cailloux
dans les choses sûres



Didier Nordon épingle les scientifiques et les politiques qui extraient de la science plus qu'elle ne dit. Nul doute que chacun reconnaîtra dans ces piques... le défaut de son condisciple.

144 pages - 70 F
Code 1897

POUR LA
SCIENCE
DIFFUSION BELIN

Bon de commande en p. 194

(henequén) et que l'abaca (fibre tirée des feuilles de bananier).

Le séchage atténue les dégradations dues aux basses températures (à partir de 70 °C au-dessous de zéro). Les températures élevées dégradent aussi les fibres : après 80 jours, à 130 °C, la solidité du coton est ramenée à 68 pour cent de sa valeur initiale ; à 100 °C, elle est réduite à 10 pour cent de cette valeur. Pour le lin, ces réductions sont respectivement de 41 pour cent et de 12 pour cent ; pour la ramie, de 26 pour cent et de 6 pour cent.

Dans un composite à matrice synthétique, l'eau qui diffuse réduit les caractéristiques mécaniques (l'eau de mer provoque plus de dégâts que l'eau douce) ; des bactéries et des champignons attaquent les fibres. Les fibres de ramie et de jute résistent mieux à ce type d'agression que les autres fibres végétales.

Des composites mixtes

Les fibres naturelles renforcent surtout des polymères thermodurcissables et thermoplastiques. Les thermodurcissables, telles les résines époxy et polyester, sont réticulés : ils ne peuvent plus être mis en forme par la suite. Les thermoplastiques, telles les polyoléfines, sont moulés à chaud pour fabriquer des produits semi-finis. Contrairement aux précédents, leur transformation est réversible.

Aujourd'hui, on utilise surtout les composites à matrice thermodurcissable et à fibres naturelles pour fabriquer les pare-chocs, les hayons et les accessoires de carrosserie de voitures, ainsi que les blindages et les boîtiers d'appareils électriques.

Pour les applications techniques, on choisit plutôt des polymères thermoplastiques, qui peuvent être refondus et réutilisés. Comme les fibres naturelles sont stables jusqu'à 230 °C seulement, la matrice polymère doit avoir une température de mise en forme inférieure à cette valeur. On utilise essentiellement des polyoléfines, tels le polyéthylène et le polypropylène. Le polyamide, le polyester et le polycarbonate ne conviennent pas, car ils ont une température de mise en forme supérieure à 250 °C. Les nappes de fibres de verre sont les renforts les plus courants des matières thermoplastiques. La Société BASF met aujourd'hui au point un composite à

matrice thermoplastique, renforcée avec des nappes en fibres naturelles. On fabrique tout d'abord les nappes : une installation de cardage transforme les fibres en voiles réguliers (couches de fibres très fines). Plusieurs voiles sont ensuite liés pour former une structure non tissée, qu'on intègre à la matrice en polypropylène dans une presse en acier à chaud : la matière synthétique fondue imprègne les fibres, puis le composite refroidit sous pression. La Société Daimler-Benz met également au point un procédé nommé «Express», qui pourrait concurrencer la méthode précédente : une extrudeuse à filière plate injecte la matière thermoplastique dans un moule contenant des voiles de fibres naturelles, puis l'ensemble est pressé. Ce procédé en une seule étape produit un matériau multicouche, composés de deux voiles séparés par un film thermoplastique.

Les propriétés mécaniques et physiques des composites à fibres naturelles semblent moins bonnes que celles des composites à fibres de verre, sauf dans certaines conditions. En associant les deux sortes de fibres, on remédie partiellement à cet inconvénient. De tels composites, dits hybrides, sont nettement moins sensibles aux effets de l'environnement.

Pour obtenir des matières biodégradables, on étudie également les biopolymères à fibres naturelles, notamment à fibres de lin : la résistance à la traction et le module d'élasticité de ces composites dépendent de l'adhérence entre la matrice et les fibres, donc de la matrice utilisée. Certains spécialistes considèrent que les biocomposites peuvent servir de matériaux de construction dans l'industrie automobile, l'ameublement ou les chemins de fer à condition qu'ils ne soient pas soumis à des conditions environnementales trop rigoureuses.

Les composites à fibres naturelles ouvrent de nouveaux débouchés aux produits agricoles. Au lieu d'être réduits par des subventions, les excédents de l'agriculture seront ainsi utilisés dans de nouvelles applications techniques.

Andrzej BLEDZKI est professeur de plasturgie et de recyclage des plastiques à l'Université de Kassel. Jochen GASSAN est spécialiste des fibres de renfort pour composites.