

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

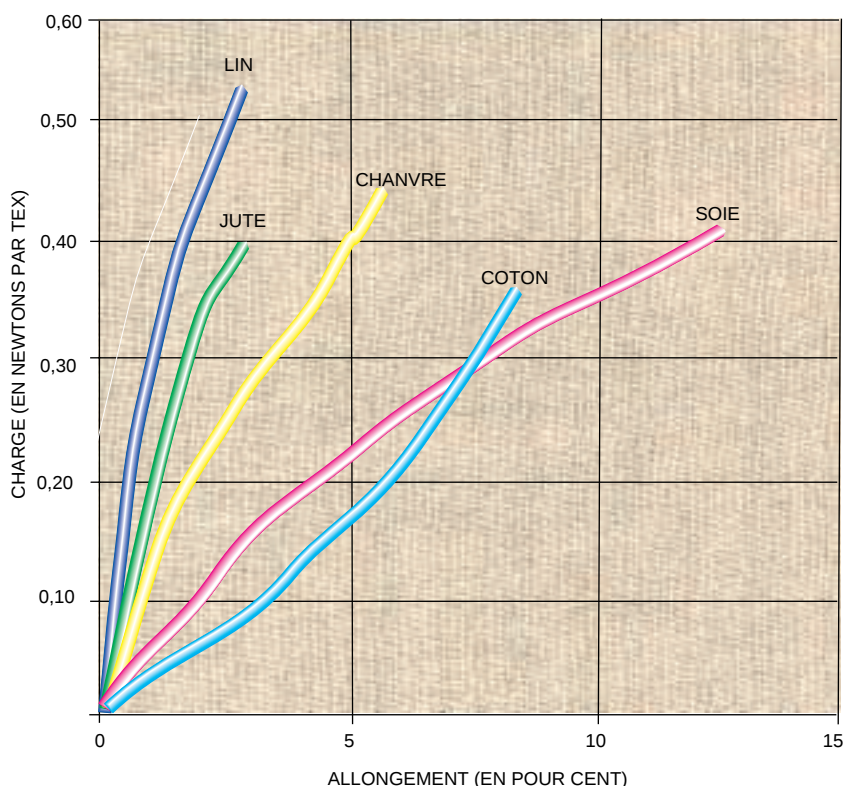
renferme des domaines cristallins (ordonnés) de cellulose, séparés par de la lignine et par des hémicelluloses formant des zones amorphes. Les cellules de la plupart des plantes à fibres ont quatre parois concentriques : la paroi primaire et trois parois secondaires (voir la figure 1). Dans la dernière, 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