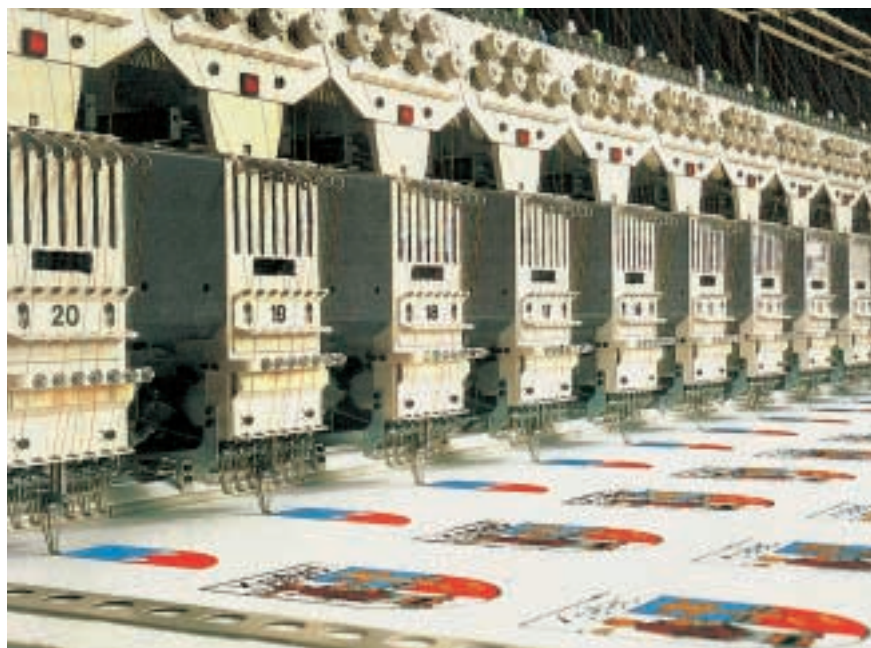
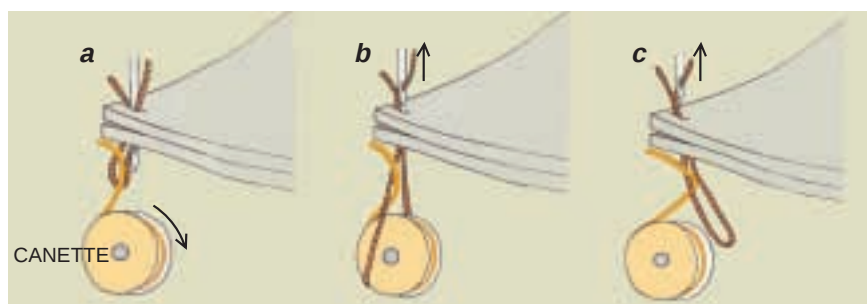




ZSK Strickmaschinen-Gesellschaft, Krefeld

2. CETTE MACHINE À BRODER industrielle possède 20 têtes multi-aiguilles.



3. PRINCIPE DES MACHINES À COUDRE et à broder : le fil supérieur, entraîné par l'aiguille, traverse les deux pièces de tissu à assembler (a). Il forme ainsi une boucle au-dessous des tissus, dans laquelle se glisse un crochet (*non représenté*). Le crochet tourne (*voir la flèche*) pour que la boucle passe autour de la canette (b), puis autour du fil du dessous qui y est enroulé (c). Au total, le fil du dessus est accroché au fil du dessous.

contraintes uniforme sur l'ensemble des fibres, ce qui permet de réduire leur nombre, donc la masse de la pièce (voir la figure 1, à droite).

On utilise des écheveaux de fibres de renfort en verre, en carbone, en aramide ou en matériaux hybrides (des fibres de renfort imprégnées d'une résine). Toutes les matières fibreuses que l'on peut filer sont également utilisables, tels le lin, la ramie (une sorte d'ortie) et le jute, ainsi que celles dont on peut faire des faisceaux, telles les fibres céramiques. Leur emploi devrait réduire le prix de revient des composites à fibres : l'étape de coupe et les chutes sont éliminées, puisqu'on donne directement aux produits leur forme finale ; on peut utiliser des fibres naturelles, bon marché, car elles donnent d'aussi bon

résultats que les fibres de verre. Les procédés automatisés de couture sont capables de reproduire les mêmes pièces avec une grande précision, ce qui garantit une qualité élevée.

En outre, d'autres procédés ont été mis au point à partir de cette technique. Par exemple, on inclut des réserves de fibres étirables dans des pièces textile, qui peuvent ensuite être mises en forme pour fabriquer des produits semi-finis, tels les tôles et des renforts textiles tridimensionnels. La combinaison de ces innovations est particulièrement prometteuse.

Konrad GLIESCHE est spécialiste des composites à renforts brodés, à l'Institut de recherche sur les polymères de Dresde.

Les fibres naturelles dans les composites

ANDRZEJ BLEDZKI • JOCHEN GASSAN

Biodégradables et peu coûteuses, les fibres naturelles commencent à s'imposer dans les composites. Les performances des matériaux obtenues égalent parfois celles de composites classiques.

Il y a 70 ans environ, on utilisait surtout des fibres naturelles pour fabriquer les objets d'usage courant et les produits techniques, même dans les pays industrialisés. Par exemple, les textiles, les cordes et les voiles étaient en lin et en chanvre. À la fin du siècle dernier, les sièges et les réservoirs à carburant des premiers avions étaient en fibres naturelles imprégnées d'un peu de polymère, qui jouait le rôle de liant. En 1908, du papier et du coton renforçaient des résines de bakélite. Avec ces matériaux, les premiers composites, l'industrie produisait des panneaux et des tubes pour l'électrotechnique. À partir des années 1950, les matériaux synthétiques s'imposèrent, notamment dans les domaines techniques, grâce au bas prix du pétrole et au développement fulgurant de la pétrochimie. Les matières premières renouvelables ne retiennent à nouveau l'attention que depuis quelques années.

Les pays en développement, qui n'ont jamais abandonné les fibres naturelles, peuvent aujourd'hui guider les pays industrialisés. En Inde, plusieurs instituts étudient le jute (plante herbacée) dont les fibres, associées à du polyester, entrent dans la composition de produits semi-finis, tels des tubes et des panneaux. Du polyester renforcé au jute a été utilisé pour construire une maison à Madras, en 1978, et un silo à céréales. Dans certaines régions du monde, l'argile mélangé à de la paille est depuis toujours le principal matériau de construction.

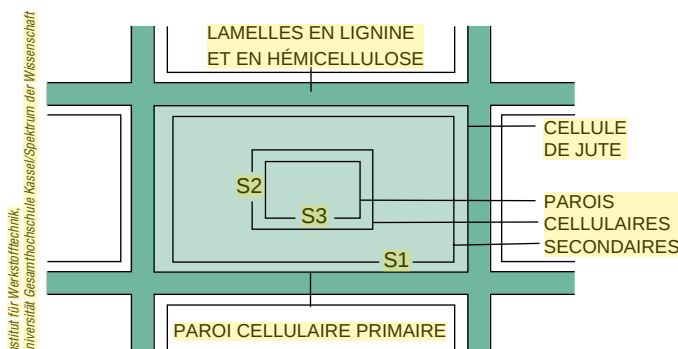
L'industrie automobile des pays occidentaux cherche également à utiliser les fibres naturelles. Pendant des décennies, des fibres issues de déchets textiles ont renforcé le matériau synthétique de la carrosserie de la *Trabant*, en Allemagne de l'Est. La Société *Mercedes-Benz* met aujourd'hui au point sa série K, pour *Kraut* (plante) ou *Kompost* (compost), qui contient des fibres de

bois, de lin, de ramie (sorte d'ortie) et de chanvre. Par exemple, on étudie des garnitures de portes en bois moulé ou en fibres naturelles agglomérées, des toits en résine époxy ou polyuréthane, renforcées avec des fibres de lin.

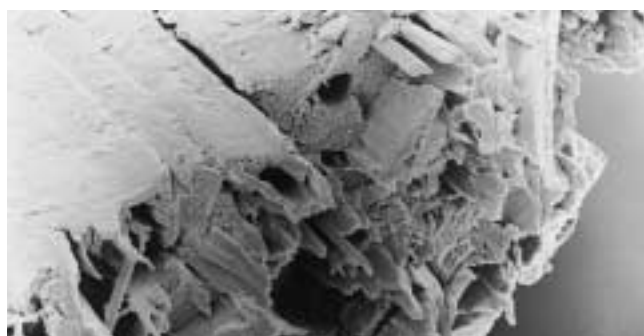
Du naturel amélioré

Les fibres naturelles sont de trois types : les fibres végétales, tels le coton, le lin, le chanvre, la ramie, le jute, le sisal... ; les fibres animales, telles la laine et la soie ; et les fibres minérales, telle l'amiante. Pour renforcer les matériaux synthétiques, on utilise généralement des fibres végétales. Elles sont constituées soit de filaments (coton, kapok), soit de faisceaux de tissus de soutien de plantes dicotylédones, soit de faisceaux de nervures de monocotylédones (lin, sisal).

Aujourd'hui, on produit mondialement 3,6 millions de tonnes de fibres de jute et 0,8 million de tonnes de fibres



1. UNE FIBRE DE JUTE est composée de cellules ordonnées (celle du centre est en vert clair), séparées par des lamelles en lignine et en hémicellulose (en vert foncé). Chaque cellule a une paroi pri-



maire et trois parois secondaires, en fibrilles de cellulose. À droite, des fibres de jutes, observées au microscope électronique à balayage, sont grossies 2 680 fois.

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

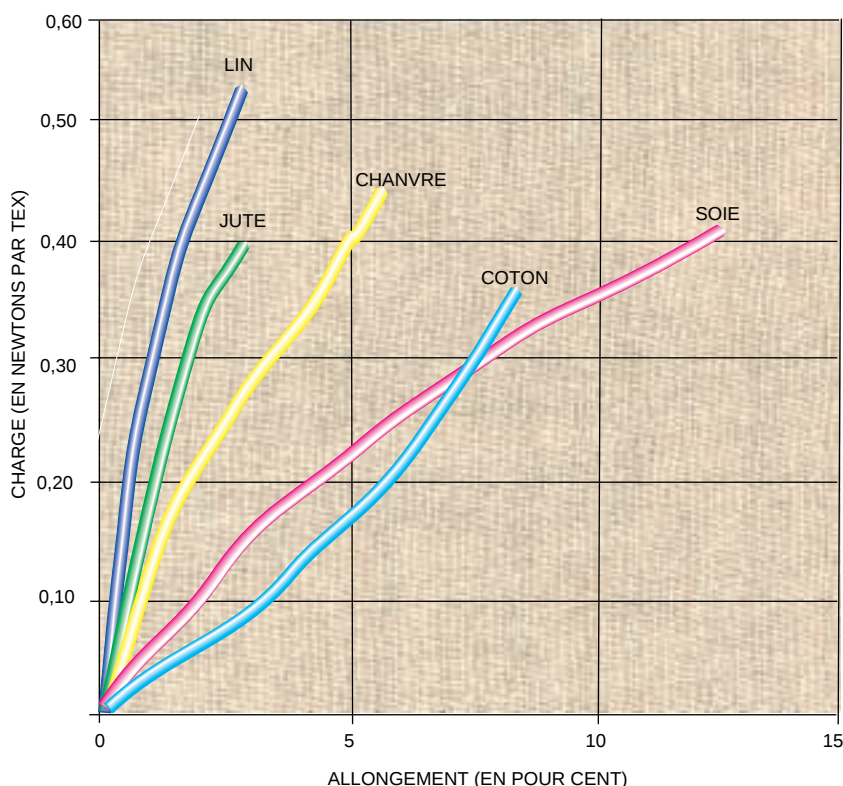
renferme des domaines cristallins (ordonnés) de cellulose, séparés par de la lignine et par des hémicelluloses formant des zones amorphes. Les cellules de la plupart des plantes à fibres ont quatre parois concentriques : la paroi primaire et trois parois secondaires (voir la figure 1). Dans la dernière,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