

LES MATÉRIAUX DANS LE SPORT, (R)ÉVOLUTIONNAIRES !

Patrice Bray, Odile Garreau, Jean-Claude Bernier

D'après l'article *Les matériaux composites dans le sport* de Yves Rémond et Jean-François Caron publié dans l'ouvrage « La chimie et le sport » EDP Sciences, 2011, ISBN : 978-2-7598-0596-9

La pratique du sport est souvent synonyme de recherche de performance. Cela conduit à l'utilisation massive de nouveaux matériaux, en particuliers de matériaux composites, présents dans les raquettes de tennis, les skis, etc. (Figure 1). Il s'agit d'assemblages d'au moins deux matériaux [1]. Le composite qui en résulte cumule alors les propriétés, souvent complémentaires, de ses composants, par exemple légèreté et solidité, résistance et souplesse, etc.

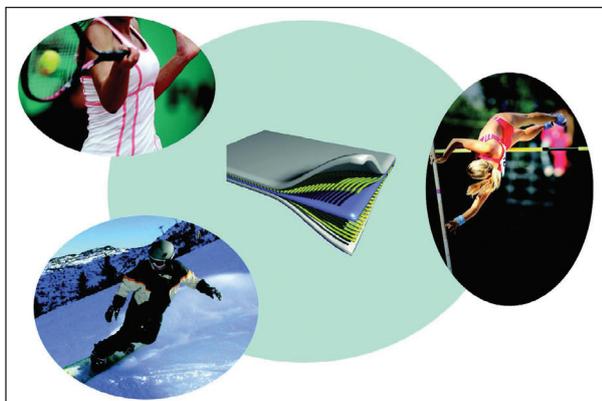


Figure 1. De nombreux sports font appel à des matériaux composites : tennis, snowboard, ski, saut à la perche, etc.

QU'EST-CE QU'UN MATÉRIAU COMPOSITE ?

Les 2 types de composants d'un composite

Un matériau composite résulte de l'assemblage d'au moins deux composants. L'un – appelé **renfort** – constitue l'ossature du matériau : c'est le principal responsable de sa tenue. Les autres constituent la **matrice** du composite et font office de liant. Ils servent souvent à transmettre les efforts mécaniques au renfort, à assurer sa protection ou à le façonner, lui

donner la forme voulue. Le renfort a le plus souvent une structure fibreuse (fibre de verre, de carbone, kevlar, fibres végétales). La matrice est le plus souvent faite de résine thermodurcissable (polyester, epoxy...) ou de plastique (polypropylène, polyamide...) [2].

Un exemple de matériau composite : le bois

Les premières raquettes de tennis ou les premiers skis étaient en bois. De fait, le bois est un matériau composite naturel, assez solide, plus léger que le métal et qui n'est pas soumis à la corrosion (voir Figure 2) [3]. Il est constitué de fibres de cellulose, polymère de deux cents à une dizaine de milliers d'unités glucose (Figure 2B et encart « Qu'est-ce qu'un polymère ? »), dans une matrice de lignine, autre assemblage polymère, Figure 2A).

Propriétés attendues d'un matériau composites

L'objectif est de disposer de matériaux qui répondent le mieux possible aux applications visées avec des contraintes multiples et souvent contradictoires. On les veut performants mais peu coûteux, résistants mais souples (comme la perche du saut à la perche), rigides mais légers (comme une raquette de tennis). La démarche est de réunir, dans un même matériau, différents constituants dotés chacun de l'une des propriétés recherchées, dans l'espoir que le matériau final conjuguera toutes ces propriétés. La pratique montre que cette démarche est fréquemment couronnée de succès, au-delà même des espoirs puisqu'on obtient parfois mieux que la somme des propriétés.

Pour les matériaux du sport, deux propriétés mécaniques [5] vont jouer un rôle clé : la rigidité et la résistance (Figure 3). La rigidité est la mesure

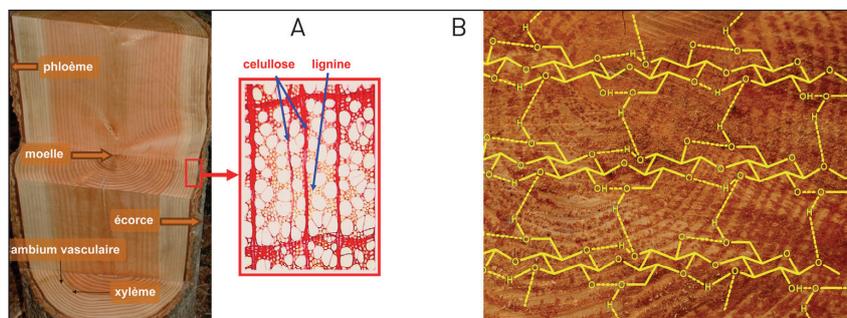


Figure 2. Le bois est le matériau composite le plus ancien à avoir été utilisé par l'homme [A] : il comporte des fibres de cellulose (polymère pouvant comporter une dizaine de milliers d'unités glucose : structure chimique en B) et de la lignine.

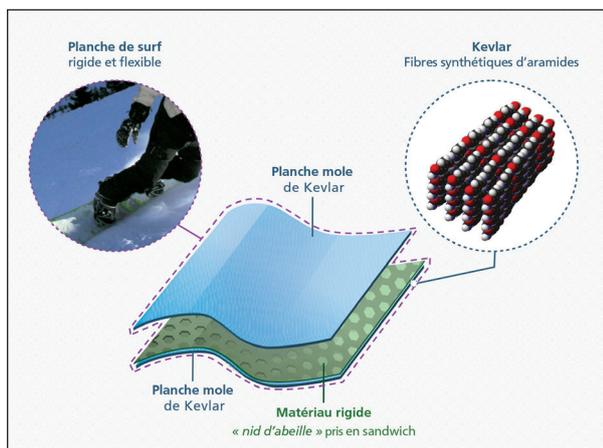


Figure 3. Rigidité et résistance.

de la déformation sous une charge. Les matériaux composites permettent des rigidités considérables par rapports aux matériaux purs. Les rigidités obtenues se mesurent en GPa (gigapascals) : pour des matériaux non composites comme le polyester ou l'époxy, elle est de 1 à 5. Pour des fibres de verre dans une matrice d'aluminium, elle monte à 70. Pour l'acier, elle atteint 200, et pour les fibres de carbone, elle est parfois égale à plus de 1 000.

La résistance est la mesure de la traction maximale supportée par le matériau avant rupture ; elle se mesure en mégapascals (MPa). Les matrices polymères dépassent rarement quelques dizaines de MPa, l'aluminium se situe à 450 MPa. Entre 1 000 et 1 500 MPa, on trouve les meilleurs aciers. Mais la résistance des fibres de verre comme celle des fibres de carbone peut atteindre 4 000 à 5 000 Mpa.

QUE CONTRÔLE-T-ON APRÈS AVOIR ÉLABORÉ UN MATÉRIAU COMPOSITE ?

La réalisation du composite à partir de ses matériaux constitutifs obéit aux trois principes suivants.

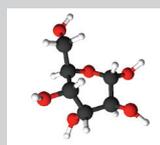
Contrôler l'interface fibre-matrice

Pendant son utilisation, au cours d'une activité sportive par exemple, les efforts appliqués au matériau le sont aussi bien à la matrice qu'aux fibres, mais ce sont les fibres qui sont résistantes et non le liant. Il faut donc bien comprendre comment se fait la cohésion entre les différentes parties du matériau composite afin d'optimiser son comportement en situation d'emploi. Les chimistes sont capables de

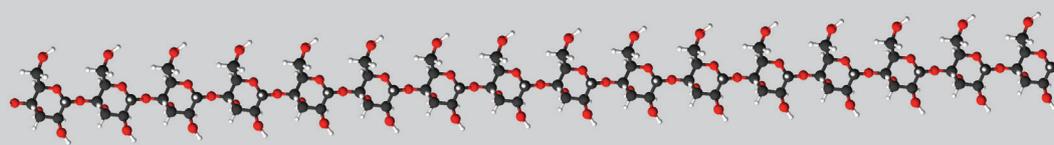
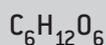
Qu'est-ce qu'un polymère ?

Un polymère est une macromolécule composée d'un motif élémentaire qui se répète un grand nombre de fois.

Exemple : la cellulose est un polymère synthétisé par les végétaux à partir du glucose.



Le glucose



La cellulose

(Seule une petite partie de la fibre de cellulose est représentée ici, car le nombre de molécules de glucose associées entre elles peut aller de quelques centaines à une dizaine de milliers selon son origine.)

caractériser cette interface, de décrire les liaisons chimiques qui se forment et qui assurent la cohésion du matériau. Leurs études permettent d'orienter la constitution du matériau pour optimiser les performances de ces interfaces.

Contrôler la géométrie des fibres (Figure 4)

Le mot « fibre » évoque les textiles et, en effet, les concepts du tissage peuvent être utilisés pour conduire à une variété d'assemblages. Le tissage des fibres apportera des propriétés différentes pour une même composition (4). Chaque type d'assemblage présente des propriétés différentes, par exemple par rapport à la résistance aux efforts. La géométrie la plus adaptée à l'utilisation des objets finis sera sélectionnée.

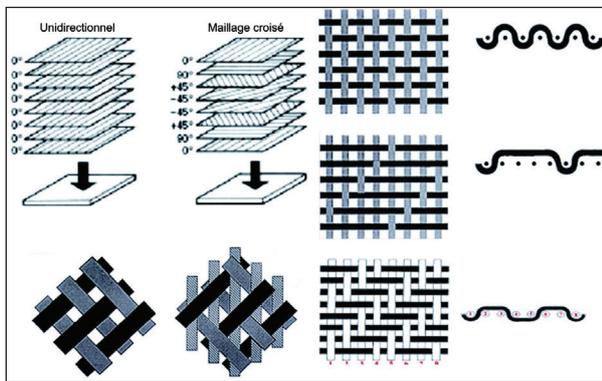


Figure 4 : Des fibres de géométries variées : plaque stratifiée, unidirectionnelle ou non, tissée, tressée.

Contrôler l'assemblage au niveau macroscopique

Les propriétés d'un matériau composite dépendent de sa composition microscopique mais aussi de son organisation macroscopique. Une plaque de Kevlar n'a, par exemple, pas de rigidité particulière. C'est un assemblage de couches en sandwich qui lui confère sa très grande rigidité. La conception d'un matériau procède d'une démarche inductive : dans une première phase du travail, les propriétés à obtenir sont définies en fonction de l'usage recherché ; dans une deuxième phase du travail, on cherche la composition du matériau, tant au niveau microscopique qu'au niveau macroscopique, qui va permettre le respect de ces propriétés. Les matériaux composites, avec la complexité de constitution évoquée, fournissent une quantité de schémas entre lesquels il faut choisir.



Figure 5. La raquette de tennis, un matériau composite qui associe des fibres et une colle.

EXEMPLE : LA CONCEPTION D'UNE RAQUETTE DE TENNIS (FIGURE 5)

Le choix du matériau ne suffit pas à la conception de l'objet. Sa mise en œuvre doit encore répondre à certaines problématiques. Si une raquette de tennis, au premier abord, peut se résumer à un tamis et à un manche, la conception n'est pas si simple (6). On comprend l'intérêt de recourir à un matériau composite solide et léger, pouvant éventuellement transmettre efficacement les efforts du joueur ou de la joueuse. Mais ce ne sont pas les seules caractéristiques à prendre en compte.

Phénoménologie

L'un des phénomènes à étudier est le comportement de la raquette sous percussion :

- **centre de percussion** ; la figure 6 montre une raquette suspendue par la poignée. Le comportement du point P dépend du point d'impact de la balle : pour un certain point d'impact, le point P reste immobile – c'est le centre de percussion (7) ;
- **analyse vibratoire** ; comme le fait une corde de guitare, la raquette frappée entre en vibration et ces vibrations sont marquées de « nœuds » et de « ventres ». Pour éviter ces vibrations qui pourraient entraîner la rupture des cordes, on tape sur la raquette à un nœud de vibration. On comprend alors l'intérêt de faire coïncider le centre de percussion avec un nœud de vibration.



Figure 6. Le centre de percussion P est un point important de la géométrie de la raquette qu'il faut savoir prévoir avant la fabrication.

Établissement du cahier des charges

Dans un premier temps, afin d'établir les données d'entrée du cahier des charges, il est nécessaire de s'intéresser au joueur de tennis : sa morphologie, son niveau de jeu (coordination), son style de jeu (offensif ou défensif). Tous ces paramètres influencent les contraintes auxquelles la raquette sera soumise. Ces données sont ensuite traduites en propriétés objectives pour la raquette : sa puissance, sa capacité de contrôler la trajectoire de la balle (précision, récupération des coups ratés), sa manœuvrabilité, son confort. Tout ceci va se traduire en caractéristiques statiques – le poids, le centre de gravité (Figure 7), ainsi qu'en caractéristiques de résistance à la flexion, à la torsion que l'objet final devra présenter. Dans la description de cette démarche, le « matériau » semble avoir disparu. En fait, même caché, il est omniprésent, car à chaque étape, il conditionne les paramètres qu'on sera capable d'atteindre ou non.

En conclusion, des besoins de l'ingénierie naissent de nouveaux matériaux composites. De ces nouveaux matériaux composites naissent de nouvelles découvertes de l'ingénierie. On élargit ainsi le champ des possibles en entrant dans un cycle qui semble sans limite où évolution et révolution s'entremêlent. Le sport n'est pas le seul à en profiter. Les matériaux composites ont conduit à des prothèses révolutionnaires (8) dans le domaine de la médecine. Les surfaces composites ont permis dans le domaine de la construction d'avoir des revêtements de vitres qui



Figure 7. Le centre de gravité et le poids de la raquette doivent être caractérisés avec précision.

fournissent de l'énergie électrique (9), les réfractaires C et SiC participent grandement au développement de l'aérospatiale (10), etc.

POUR EN SAVOIR PLUS

- (1) Matériaux composites à matrices polymères
<http://www.mediachimie.org/node/304>
- (2) Les polymères
<http://www.mediachimie.org/node/1136>
- (3) Les matériaux de structure du développement durable pour l'habitat
<http://www.mediachimie.org/node/301>
- (4) Le textile, un matériau multifonctionnel
<http://www.mediachimie.org/node/303>
- (5) De la transformation des matériaux (vidéo)
<http://www.mediachimie.org/node/641>
- (6) Les matériaux de la performance (Chimie... et junior)
<http://www.mediachimie.org/node/1060>
- (7) La petite balle jaune
<http://www.mediachimie.org/node/1740>
- (8) Nouvelles prothèses et cœur artificiel
<http://www.mediachimie.org/node/685>
- (9) Les vitrages : laisser entrer la lumière
<http://www.mediachimie.org/node/302>
- (10) Les composites carbone/carbone
<http://www.mediachimie.org/node/231>

Jean-Claude Bernier, professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur scientifique des sciences chimiques du CNRS

Patrice Bray, professeur de physique chimie

Odile Garreau, professeure de sciences physiques de lycée, agrégée de physique

Grégory Syoën, professeur agrégé, chef de projet Mediachimie-Fondation de la maison de la chimie