

LES MATÉRIAUX DE LA PERFORMANCE

On peut s'entraîner très dur. On peut se forger un moral de vainqueur. Mais pour gagner, il faut aussi du super matériel. Si le sprinter jamaïcain Usain Bolt avait couru avec des sabots, il n'aurait pas été champion olympique. Si Rafael Nadal avait joué avec une raquette en bois, jamais il n'aurait gagné les tournois du grand Chelem en tennis. Heureusement pour eux, ils ont des chaussures et raquettes au top matériaux.

Comment sont fabriqués les accessoires de sport pour les champions, raquettes, vélos, perches... Pour atteindre la meilleure performance, ils seront efficaces et légers.

L'ennemi, le poids ?

Quand on veut rouler plus vite en vélo et monter rapidement les côtes. Quand on tape des balles pendant quatre heures avec une raquette sans se démolir le bras. Quand on doit sauter très haut en s'appuyant sur une perche...

Qu'est-ce qu'il faut ?

Un vélo solide et léger – une raquette costaud et légère – une perche flexible mais légère.

Pour fabriquer tous ces accessoires sportifs, on doit utiliser des matériaux solides comme des métaux ou du bois mais aussi des nouveaux composites fabriqués à partir de fibres (des fils) et des polymères (des colles et plastiques).

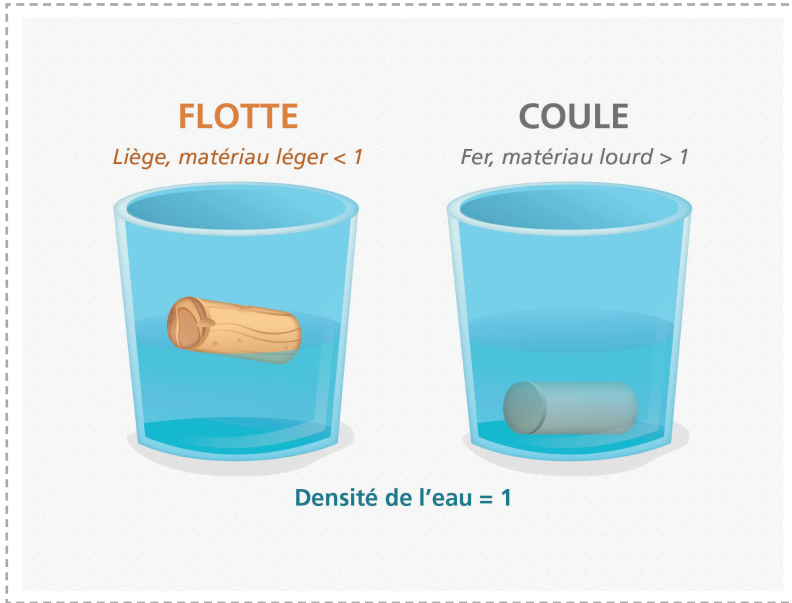


Figure 1



Pour voir facilement si un matériau est léger ou lourd, il suffit de le jeter dans l'eau et ça nous donne une échelle grossière mais comparative, s'il coule : il est lourd ; s'il flotte : il est léger (Figure 1).

Plomb	Fer	Aluminium	Bois	Carbone	Liège
Très lourd	Lourd	Moyen	Moyen	Léger	Très léger
Coule	Coule	Coule	Surnage	Flotte	Flotte
Pata plouf	Plouf	Plouf	Flop	Flop	Flip

Par exemple pour faire le cadre d'un vélo, on pourrait coller ensemble des bouchons de liège, ce serait marrant mais ça casserait tout de suite car le liège n'est pas solide. On préfère le faire avec des tubes en acier (du fer) ou en aluminium qui est plus léger. Mieux encore, on peut prendre des tubes en fibres de carbone collées entre elles par un polymère et cela va nous donner un cadre hyper léger mais très résistant.

Les polymères

Les chimistes ont inventé des matériaux constitués de molécules carbonées dont certaines ont des minuscules crochets constitués d'atomes et d'autres de minuscules anneaux. Ces molécules peuvent donc s'accrocher, se lier entre elles et former des chaînes très longues (Figure 2).

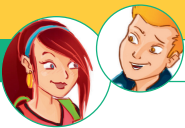
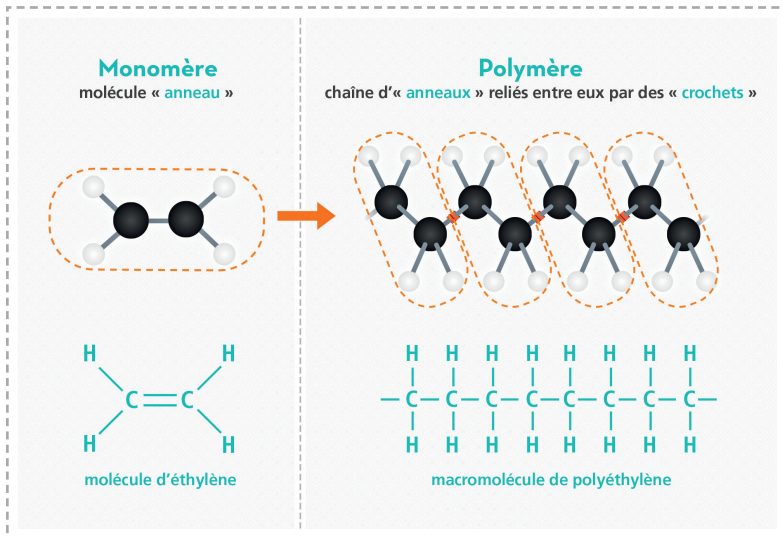


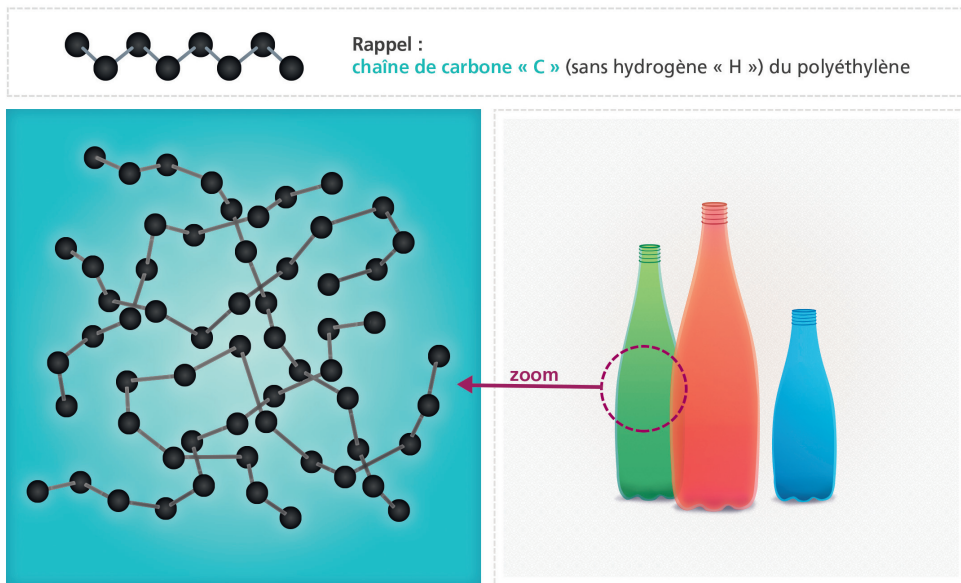
Figure 2



Il y a plusieurs types ou familles de polymères, le polyéthylène, le polystyrène, le kevlar... Tous relativement légers.

On peut aussi, le long de ces chaînes, ajouter sur les côtés des molécules qui se terminent aussi par des crochets et relier les chaînes entre elles. On forme alors un réseau qui ressemble à un « grillage » moléculaire (Figure 3), c'est le principe de formation des « matières plastiques ».

Figure 3



Réseau de plusieurs chaînes de carbone « C » reliées entre elles



Les matériaux composites

Les composites utilisés dans le sport doivent être bien plus légers et sont eux presque toujours constitués de fibres noyées au sein d'une matrice qui peut être un mélange de colle et de polymère.

Grâce à la chimie, les composites ont conquis aussi d'autres grands domaines tels que l'aéronautique, l'automobile, le bâtiment. Ils sont bien présents dans l'Airbus A450, la nouvelle BMW électrique et dans tous les bolides de F1.



Un **matériau composite**. Comme son nom l'indique, un **matériau composite est un matériau qui est composé de plusieurs éléments.**



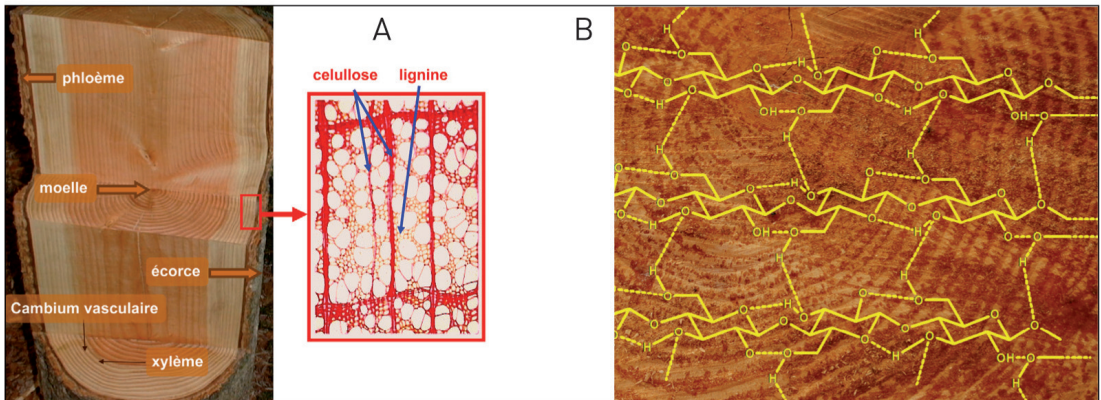
Le béton qui est un **assemblage de cailloux et de sable liés par du ciment.**



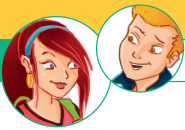
Remarque

Le plus ancien et le plus naturel des composites est le bois. Si on regarde de très près une coupe au microscope, on voit qu'il est constitué de fibres de cellulose qui est un polymère naturel dans une matrice de lignine. Cette structure s'étend au fur et à mesure que l'arbre croît au cours des années jusqu'à constituer les cercles concentriques caractéristiques de l'âge de l'arbre.

Figure 4



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 lignite.



Qu'elles sont les qualités d'un composite artificiel et comment le fabriquer ?

1. Ne pas se déchirer. C'est la fibre qui est résistante et pas la colle, mais il ne faut pas que les fibres s'arrachent de la matrice lors d'un effort. En ajoutant des molécules (avec des petits crochets) à la surface de la fibre, la chimie renforce la cohérence du matériau.
2. Résister dans toutes les directions. Les fibres peuvent être toutes parallèles, mais alors on dispose d'un matériau bien résistant dans une direction mais faible suivant les autres. Pour être bon dans les trois directions, il faut tricoter les fibres, en faire des surfaces et ensuite les empiler (*Figure 5*).
3. Solidifier le matériau. Si par exemple on tisse du Kevlar pour en faire une plaque, c'est un tissu qui n'est pas rigide (*Figure 6*). Avant d'en empiler une autre, il faut placer en sandwich un matériau costaud en « nid d'abeilles » qui va rigidifier l'assemblage. On noie ensuite le montage avec une résine ou un polymère.

Figure 5 Des fibres de géométries variées : plaque stratifiée, unidirectionnelle ou non, tissée, tressée...

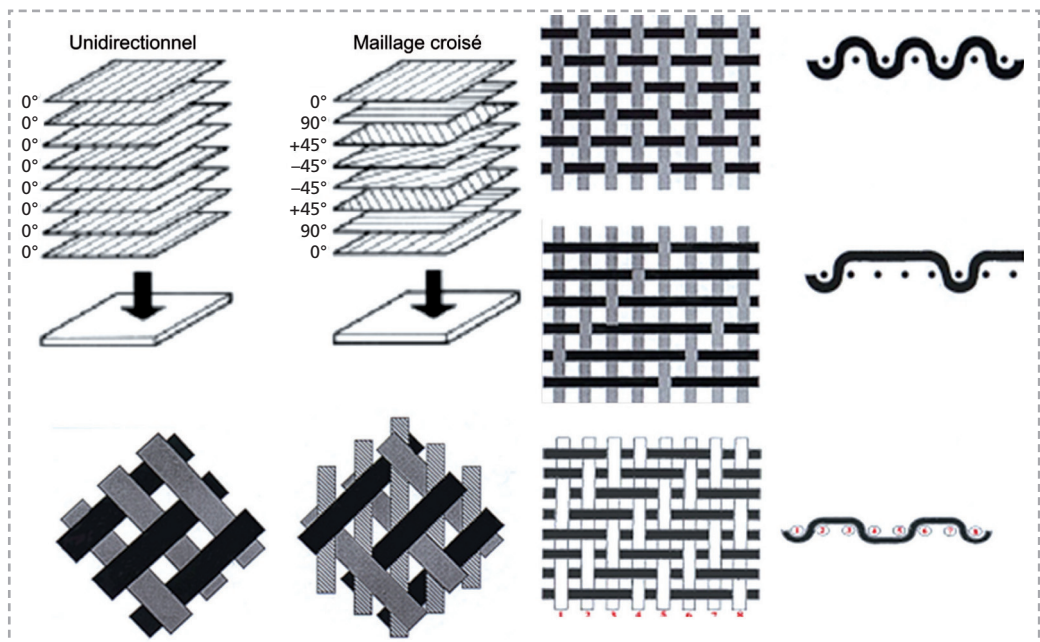
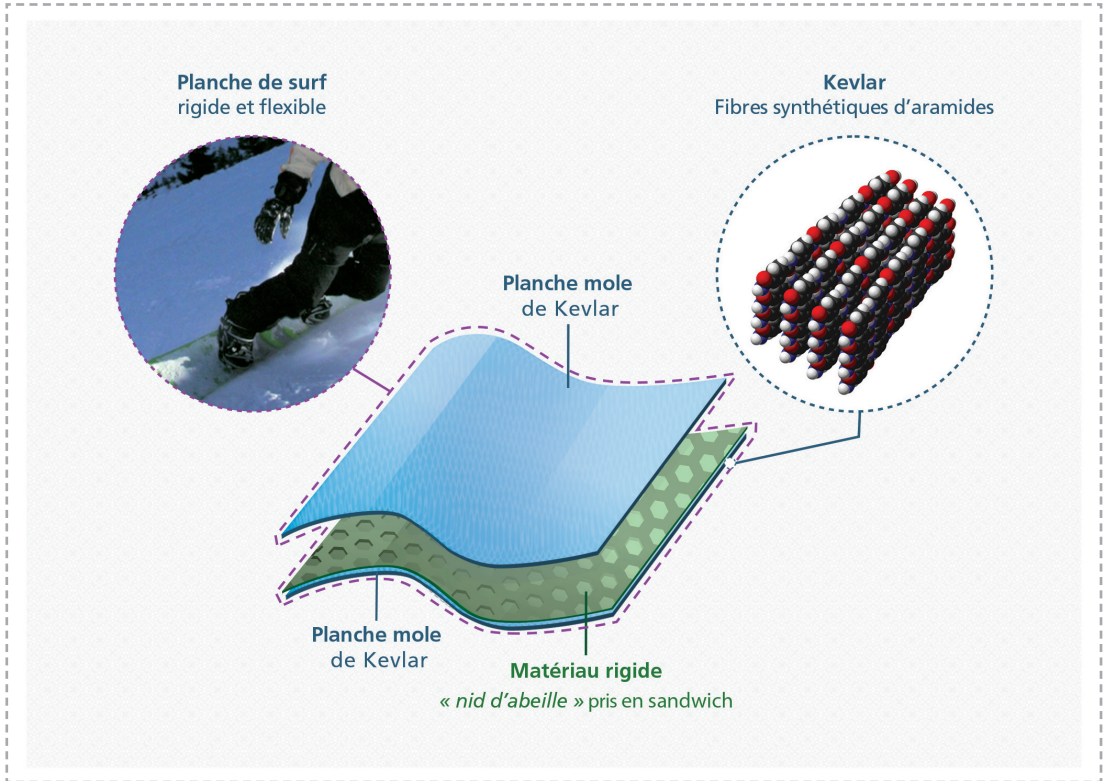




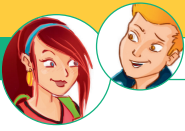
Figure 6



Pour les applications dans le sport, il faut que les matériaux puissent se déformer mais soient rigides et résistants. On les mesure avec deux caractéristiques mécaniques :

- la rigidité (en Giga pascal GPa), on appuie sur le matériau : 5 pour le polyester, 70 pour la fibre de verre dans une matrice d'aluminium, 200 pour l'acier et de 200 à 1 000 pour la fibre de carbone ;
- la résistance (en Méga pascal MPa), on tire sur le matériau, ou traction maximale supportée avant rupture : 450 pour l'aluminium, 1 200 pour l'acier, et de 4 000 à 5 000 pour la fibre de verre ou de carbone.

En fonction des efforts demandés, solidité ou souplesse, on va orienter les nappes de fibres, choisir le verre ou le carbone, la matrice en époxy ou en polymère, et après modélisation de la pièce, trouver en chimie le meilleur duo fibre-matrice pour l'application souhaitée.



La raquette de tennis

La raquette de tennis est constituée d'un cadre sur lequel sont tendues des cordes, souvent en nylon, avec une tension en kilogramme qui monte en fonction du classement du joueur ! Les grands champions comme Federer ou Nadal demandent des tensions fortes comprises entre 25 et 30 kg.

Pour la conception de la raquette, cette dernière ne doit pas vibrer lorsque l'on tape la balle, sans quoi le bras du tennisman soumis à des mouvements vibratoires de la raquette risque un « tennis elbow », inflammation osseuse du coude qui fait très mal. Pour cela, on modé-

lise la raquette idéale via une image numérique sur ordinateur, en prenant en compte toutes les caractéristiques physiques (centre de gravité, poids...) qui vont s'appliquer au moment de l'impact entre la balle et le tamis. Viennent ensuite la fabrication du moule, le coulage du composite résine fibres et le montage du prototype.

Figure 7

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



Figure 8

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

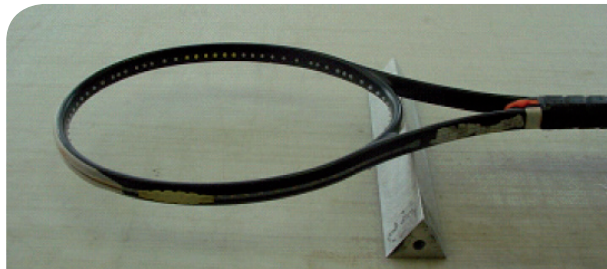
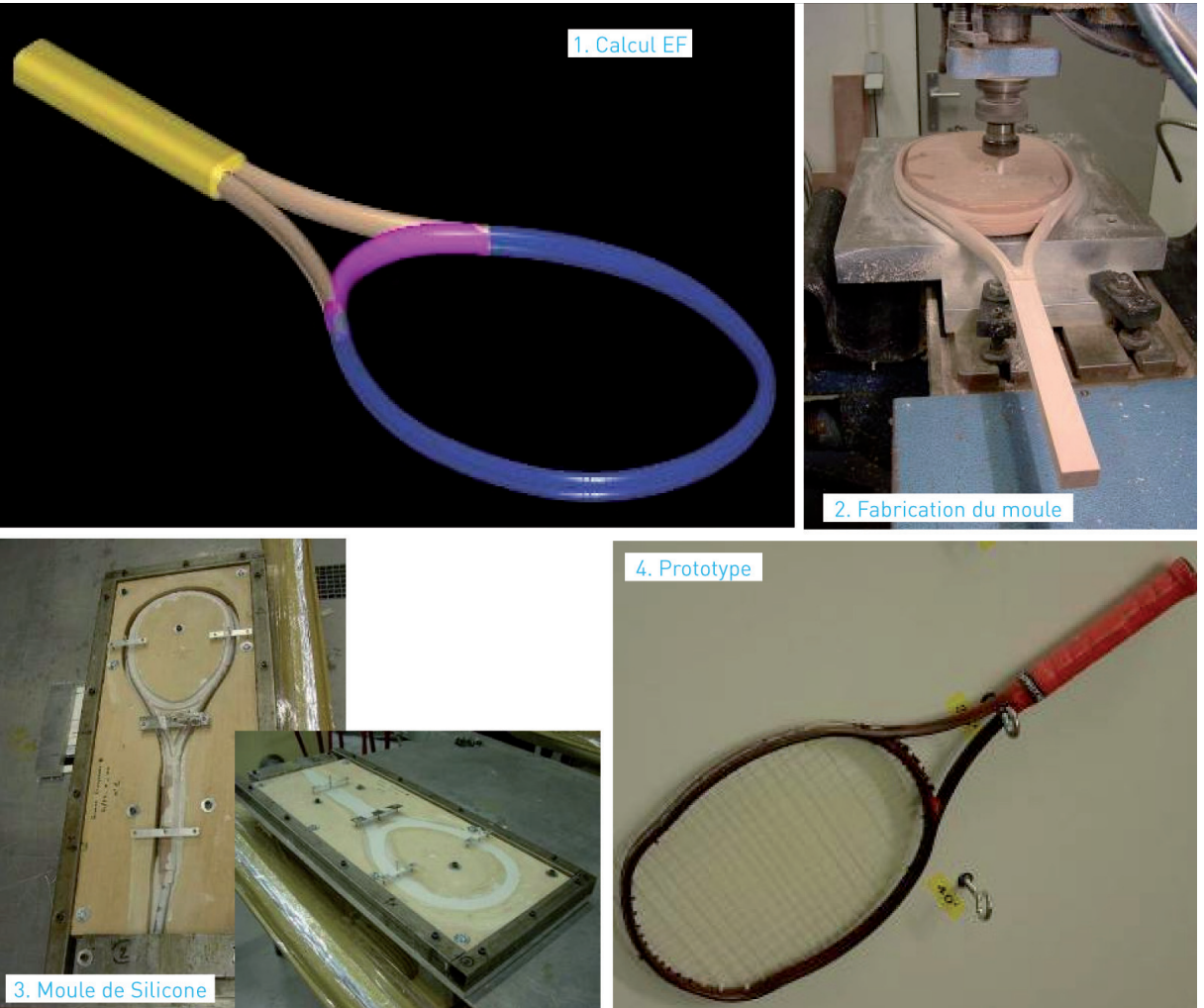




Figure 9 1) Image numérique de la géométrie choisie, qui a permis les calculs de résistance, de rigidité, des modes de vibration etc. 2) Fabrication du moule. 3) Moule terminé. 4) Raquette terminée.





Le vélo



Pour le poids de la machine proprement dit, l'utilisation d'un vélo en carbone au lieu d'un vélo en acier permet un gain de quelques dizaines de secondes au kilomètre pour le cycliste ordinaire, un peu moins pour un pratiquant entraîné. Sur un parcours montagneux, alors le gain se chiffre en minutes !



Remarque

Hors de la réglementation, certains passionnés se lancent dans le record du vélo le plus léger du monde qui peut maintenant descendre en dessous de trois kilogrammes comme le « spin light bike » en titane et carbone.

Les coureurs du Tour de France vont de plus en plus vite, la vitesse moyenne des vainqueurs a été multipliée par deux en 100 ans (*Figure 10*) ! Christopher Froom, le maillot jaune 2012 sur un vélo très léger, aurait eu le temps de faire deux Tours de France pendant que le premier vainqueur, Maurice Garin, le bouclait en 1903.

L'Union cycliste Internationale (UCI), devant les progrès des composites carbone et de leur fabrication, a dû imposer une limite basse du poids des vélos pour les coureurs, 6,8 kilogrammes, afin qu'ils puissent courir sur un même pied d'égalité, tout en gardant une certaine sécurité.

Cet allègement du matériel a un but, celui du gain en vitesse pour aller toujours plus vite. Avant de penser au matériel, il faut aussi nous alléger nous-mêmes. Un moindre poids permet de diminuer sa surface corporelle et donc avoir un meilleur aérodynamisme.

En passant de l'acier à l'aluminium, le poids des vélos de course a diminué de 50 %. Puis de l'aluminium aux cadres en acier fin et aux composites carbonés, le poids est descendu à sept kilogrammes. Les fabricants jouent maintenant sur les accessoires freins, dérailleur, changements de plateaux et de vitesses électriques.

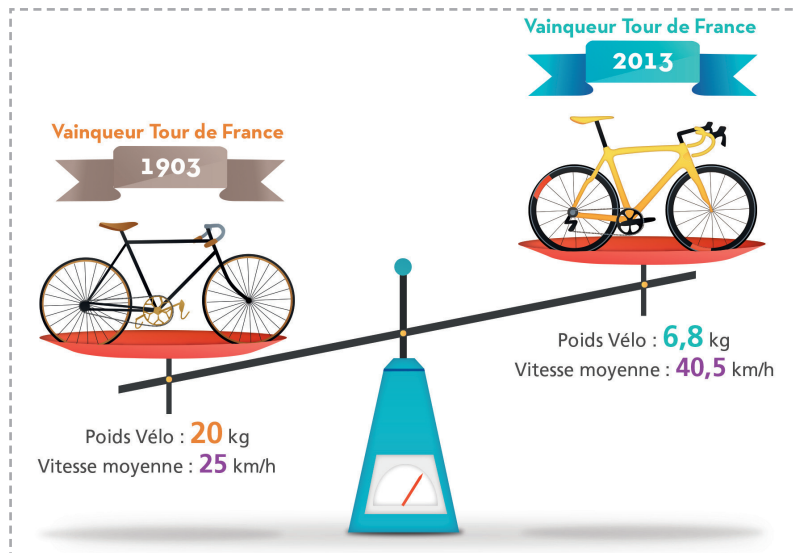


Figure 10



Les perches de saut

Pour sauter en hauteur, l'homme ou la femme arrivent à sauter plus haut que leur propre taille, mais les records plafonnent actuellement depuis celui du Cubain Javier Sotomayor en 1993 à 2,45 m ! Pour sauter plus haut, les chaussures à ressort étant interdites par le règlement, les gymnastes, dès le XVIII^e siècle, pour agrémenter les sauts, utilisaient des mâts ou des bâtons en bois qui est, comme on l'a vu, un composite naturel.

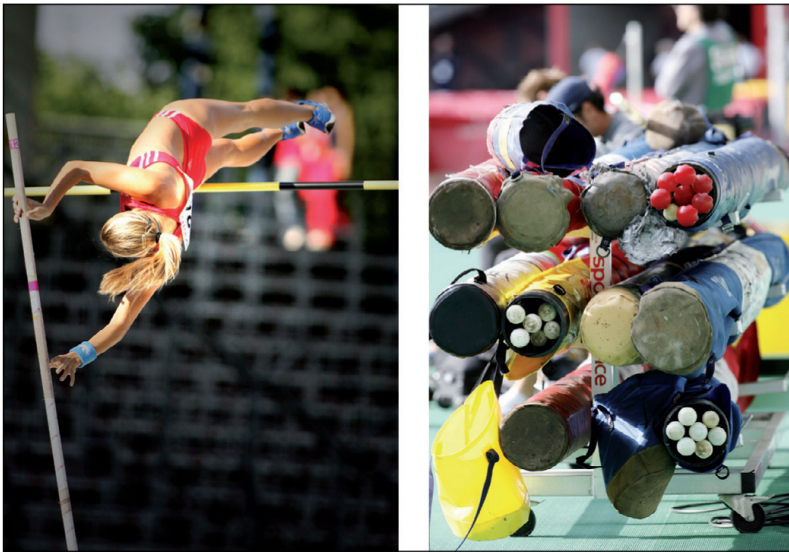
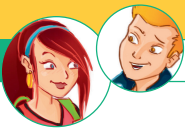


Figure 11

La perche du sauteur est faite d'un matériau composite très élaboré.

C'est après 1900 que le saut à la perche fit des progrès avec des perches en bambou. Le bambou qui est une plante exotique à croissance rapide possède une structure fibreuse périphérique avec des cupules internes qui renforcent sa solidité.

Plus flexible, la perche en bambou restitue l'énergie cinétique apportée par la course du sauteur. Les athlètes portent, en effet, la perche sur environ 50 mètres de course, la bloquent sur la butée du sautoir, la perche plie comme un arc (sans se rompre) et projette le sauteur en hauteur par un effet catapulte. La perche doit donc être légère, souple mais aussi solide et c'est là qu'intervient le matériau composite.

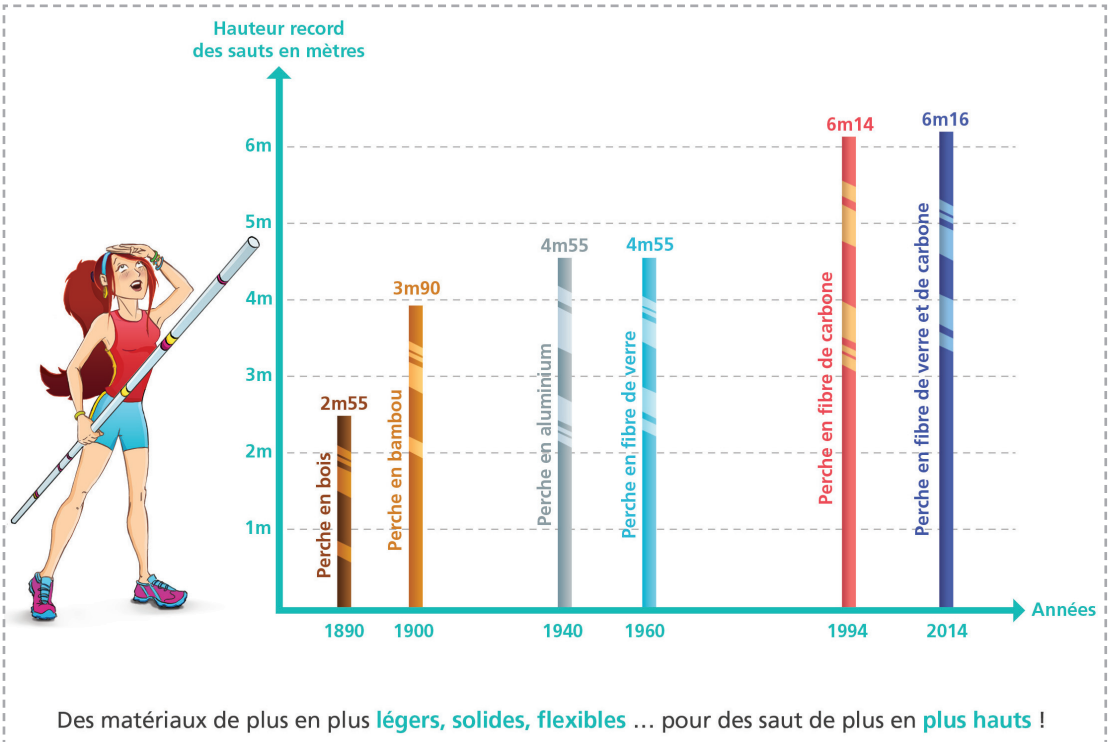


C'est après 1940 que sont apparues les perches métalliques d'abord en tube d'acier, vite abandonnées à cause de leur poids, elles furent remplacées par des perches en tube d'alliage aluminium-cuivre qui permirent de progresser.

Vers 1960, un nouveau saut technologique apporté par les composites fibres de verre-résine époxy fait encore monter les records.

Avec de nouvelles fibres en carbone et l'arrivée de polymères souples, la flexibilité et la solidité sont encore améliorées et le record dépasse maintenant six mètres avec les champions tels que l'Ukrainien, Sergui Bubka et le Français, Renaud Lavillenie (*Figure 12*).

Figure 12

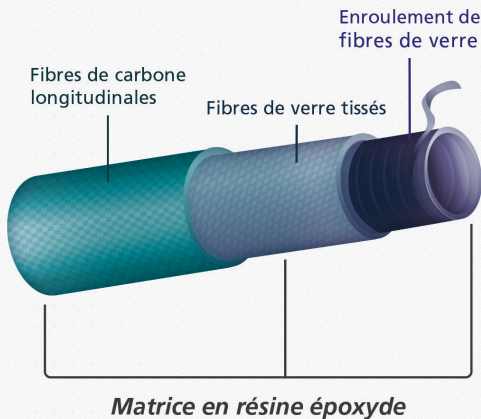




La perche des champions

Elle fait cinq à six mètres de longueur et 30 millimètres de diamètre. Elle est fabriquée à partir de bandes de tissu de verre enroulées autour d'un axe qui comportent des fibres d'un verre riche en silice SiO_2 (54 %) avec de l'alumine (Al_2O_3) et de la chaux (CaO), fondu à 1 500 °C et filé très fin à haute température (Figure 13). Ces bandes sont assemblées avec un polymère de type époxy auquel on ajoute un durcisseur (le plus connu est l'araldite) qui colle et renforce l'assemblage. Les fibres de verre sont sollicitées par l'effort dans le sens de la longueur, elles sont plus solides que l'acier grâce aux fortes liaisons atomiques linéaires Si-O-Si-O – Si...

Figure 13



Conclusion

Pour les performances dans le sport, il faut s'entraîner, bien s'alimenter et suivre une conduite de vie saine. Mais il faut aussi des matériaux performants grâce à la chimie des matériaux composites