

LA CHIMIE ORGANIQUE.

1. QU'EST-CE QUE LA CHIMIE ORGANIQUE ?

1.1. HIER, CHIMIE DES SUBSTANCES NATURELLES

Les Romains et les Phéniciens utilisaient des colorants tels que l'indigo extrait d'une plante, le pastel, et la pourpre de tyr extraite d'un mollusque, le murex.

L'obtention de savons par action de la soude sur des graisses animales est pratiquée depuis l'Antiquité. La préparation d'éthanol par fermentation de fruits remonte à la préhistoire.

L'indigo, le pourpre de tyr, les savons, l'éthanol, tous obtenus à partir de **substances naturelles végétales ou animales**, sont des exemples de composés organiques.

Le chimiste suédois Berzélius proposa en 1807 d'appeler **composés organiques** les espèces chimiques provenant d'un matériau d'origine vivante, c'est-à-dire dérivés de **systèmes organisés**, élaborés par les êtres vivants ainsi que les corps résultant de leurs transformations, par exemple par putréfaction ou fermentation.

C'est ainsi que les alchimistes et chimistes connaissaient:

- l'éthanol (alcool éthylique ou *esprit de vin*);
- l'acide méthanoïque (ou acide formique qui est sécrété par les fourmis);
- l'acide éthanoïque (extrait du vinaigre);
- le saccharose (le sucre, extrait de la canne à sucre, puis de la betterave);
- l'urée (extraite de l'urine)...

Dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, sous l'impulsion de Scheele (chimiste suédois) notamment, de nombreux corps nouveaux furent extraits des mélanges naturels (acide citrique, acide lactique, acide tartrique, glycérol ou glycérine...). Et toutes ces substances organiques présentaient deux propriétés:

- elles étaient formées d'un nombre restreint d'éléments chimiques parmi lesquels figurait toujours le **carbone** (les progrès de l'analyse permettaient de l'affirmer);
- leur **synthèse semblait impossible**, malgré de nombreux efforts.

1.2. AUJOURD'HUI, CHIMIE DES COMPOSÉS CARBONÉS.

Il semblait donc exister deux catégories:

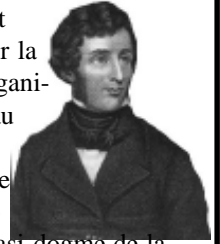
- **les composés minéraux** (extraits du règne minéral, c'est-à-dire provenant des roches, des eaux naturelles, de l'air...) dont la synthèse était le plus souvent réalisable;
- **les composés organiques** (provenant des règnes animal et végétal) dont on admit, sous l'influence du grand savant Berzélius (chimiste suédois) que toute tentative de synthèse était par avance vouée à l'échec.

La distinction était en fait de **nature philosophique**: les chimistes croyaient que la synthèse d'espèces présentes dans les organismes vivants nécessitait l'intervention d'une force vitale que les êtres vivants étaient capables de développer alors que le chimiste, dans son tube à essais ou dans sa cornue, ne pouvait en disposer.

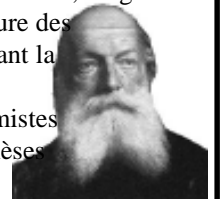
En 1828, l'allemand Wöhler, en chauffant divers réactifs minéraux azotés, obtint un solide blanc présentant les mêmes propriétés que l'urée, extraite de l'urine des mammifères. Cette synthèse d'une espèce organique, à partir de réactifs minéraux, mettait fin au concept de force vitale. Elle provoqua un certain trouble dans les milieux scientifiques, mais ne fut pas un succès décisif, car l'urée n'est qu'un déchet des réactions chimiques de la vie.

Il fallut attendre le milieu du XIX^e siècle pour que de très nombreuses synthèses de composés organiques suivirent celle de l'urée: certains de ces composés existaient dans la nature, d'autres étaient artificiels. C'est Marcellin Berthelot (chimiste français) qui en fut le principal maître d'œuvre de 1854 à 1866: il réalisa la synthèse de l'éthanol (1854), de l'acide méthanoïque, de l'acétylène (1862) et du benzène (1866)....

En 1828, le chimiste allemand Friedrich Wöhler synthétise l'urée, corps présent dans l'urine des animaux. Pour la première fois une molécule organique, c'est-à-dire appartenant au monde biologique, fut obtenue *ex vivo*, à l'aide uniquement de composés minéraux, inorganiques. Cela réfuta alors le quasi-dogme de la "force vitale" qui supposait qu'un organisme vivant était indispensable à la formation des composés organiques. C'est ainsi que le 28 février 1828 Wöhler écrivit à Berzélius: "Je peux faire l'urée sans avoir besoin d'un rein, ou somme de tout animal, qu'il soit homme ou chien."



En 1858, un autre chimiste allemand, August von Kekulé, propose une écriture des formules des molécules précisant la disposition des atomes. Cette nouvelle écriture aida les chimistes à réaliser des nouvelles synthèses de corps.



En 1987, le français Jean-Marie Lehn obtient le prix Nobel de Chimie pour la synthèse de molécules sortes de cages moléculaires aux propriétés exceptionnelles, capables de reconnaître d'autres molécules avec lesquelles elles peuvent réagir.

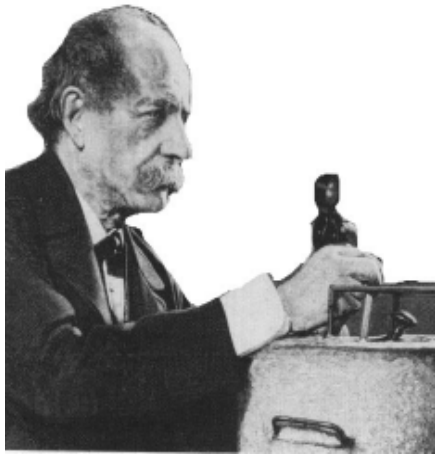


Une application ?

La capture sélective des substrats sphériques que sont les cations de métaux alcalins, soit, par ordre croissant de taille, les ions lithium, sodium, potassium, rubidium et enfin césium. Les différences entre les diamètres sont très faibles (de l'ordre du dixième de nanomètre). Il est pourtant possible de concevoir des molécules réceptrices capables d'englober préférentiellement en leur sein l'une de ces espèces sphériques. Ces molécules sont appelées cryptates, du mot "crypte", en raison de la cavité qu'elles contiennent. Dans notre exemple d'ions alcalins, les cryptates en question sont des polyéthers macropolycycliques azotés. En jouant, lors de leur synthèse, sur la taille des ponts reliant les parois de la "cage", il est possible de faire varier avec précision la dimension du réceptacle et donc de décider au préalable quel ion sera capturé formant ainsi un "cryptate".

Une autre application ?

On pourrait concevoir des molécules cages dans le but de transporter des substances actives au cœur de la cible choisie. Nous aurions alors des chevaux de Troie capables de faire franchir à leur passager, par exemple un fragment d'ADN destiné à la thérapie génique, des barrières normalement infranchissables que sont les membranes cellulaires.



Ces travaux démontrèrent:

- d'une part, qu'il n'était pas nécessaire de faire intervenir une «force» mystérieuse pour synthétiser des corps organiques relativement complexes et la théorie de la «force vitale» s'effondra;
- d'autre part, que les composés de la Chimie Organique et ceux de la Chimie minérale ne devaient pas être considérés comme étant de nature fondamentalement différente.

Une nouvelle définition de la chimie organique s'avéra nécessaire.

On définit aujourd'hui par **chimie organique, la chimie des composés du carbone, que ces composés soient naturels ou artificiels**. La chimie minérale étudie les composés qui ne contiennent pas de carbone (à l'exception du carbone lui-même). Elle se rapporte donc à une centaine d'éléments environ.

Il est curieux de constater que la chimie organique est la chimie d'un seul élément: le carbone, alors que la chimie minérale s'intéresse à une centaine d'éléments. Et pourtant, ce sont les livres de chimie organique qui sont les plus volumineux.

Remarques.

- Suivant la terminologie américaine, il existe actuellement une tendance à donner à la chimie minérale le nom de chimie inorganique, dont on peut comprendre la raison.
- L'analyse élémentaire des espèces organiques, c'est-à-dire la détermination de la nature et du pourcentage atomique des éléments présents, montre qu'elles sont constituées d'un nombre limité d'éléments chimiques. Outre l'élément **carbone**, on rencontre:
 - généralement l'élément **hydrogène**; les espèces ne contenant que du carbone et de l'hydrogène sont des **hydrocarbures**;
 - certains composés tels que les **alcools**, les **glucides**, les **lipides** contiennent en plus l'élément **oxygène**;
 - d'autres, tels que les **protéines**, possèdent aussi l'élément **azote**;
 - certains éléments se font plus rares: c'est le cas du **soufre**, du **phosphore** et du **chlore**.
 - la présence de métaux est exceptionnelle. C'est le cas des molécules d'hémoglobine présentes dans les globules rouges et qui contiennent l'élément fer, ou de la chlorophylle présente dans les plantes vertes qui contient l'élément magnésium.

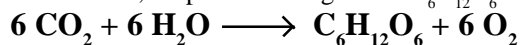
1.3. DES RESSOURCES D'ORIGINE BIOLOGIQUE.

1.3.1. A L'ORIGINE: LA PHOTOSYNTHESE.

La matière organique est initialement produite par les végétaux, qu'ils soient microscopiques comme le plancton végétal ou hautement différenciés comme les végétaux supérieurs.

- Les végétaux sont capables, en captant l'énergie solaire grâce à la chlorophylle, de transformer le dioxyde de carbone puisé dans l'atmosphère et l'eau prélevée dans le sol par leurs racines en molécules dénommées glucides et en dégageant du dioxygène.

Parmi les glucides formés, on peut citer le glucose $C_6H_{12}O_6$ dont la formation peut être schématisée par l'équation:



- La photosynthèse est donc d'une importance capitale pour la vie sur la Terre:
 - elle régénère le dioxygène de l'atmosphère consommé par la respiration des êtres vivants et les combustions;
 - elle produit des aliments nécessaires aux animaux et à l'homme: - soit directement (légumes, fruits, céréales); - soit indirectement (viandes, poissons)..
 - elle est à la base des combustibles fossiles (charbon, pétroles et gaz naturels).

La photosynthèse est d'une importance capitale, puisqu'elle transforme le minéral en carbone organique.

1.3.2. LES SYNTHÈSES BIOCHIMIQUES.

Il s'agit de transformations chimiques effectuées par les cellules et les tissus des êtres vivants. Elles produisent des molécules organiques diverses, qu'elles soient très élaborées comme les vitamines, les hormones... ou plus courantes comme les lipides et les protéides. Ces molécules contiennent du carbone car elles proviennent de la transformation des aliments, eux-mêmes issus de la photosynthèse.

Jusqu'au milieu du XIX^e siècle, les plantes et les animaux fournissent donc la totalité des substances organiques utilisées par l'homme. On peut citer le coton, le lin, la laine, la soie, la vigne (éthanol, acide éthanoïque), le bois (l'acétone, cellulose), les corps gras (savon, bougie), les plantes tinctoriales (garance, indigotier,...).

1.3.3. LES HYDROCARBURES FOSSILES.

Cependant, dès le milieu du XIX^e siècle, les chimistes cherchèrent à s'affranchir des contraintes liées à l'exploitation des ressources vivantes car le coût élevé des récoltes, amis aussi, et surtout, les aléas climatiques ou politiques (dans le cas des matières premières importées) rendaient très aléatoires les approvisionnements. Aussi, trouvèrent-ils dans le charbon, résidu organique fossile de grandes forêts de l'ère primaire, une matière de choix à partir de laquelle est née une industrie fleurissante: la carbochimie.

Après la seconde guerre mondiale, la carbochimie céda à son tour la place à la pétrochimie. Celle-ci utilise le pétrole, résidu organique fossile d'origine végétale, comme matière première des molécules organiques.

Le pétrole est la principale matière première de la chimie organique.

2. LE CARBONE, L'ÉLÉMENT DE BASE.

L'élément essentiel de la chimie organique est le carbone. Le développement de la chimie organique est devenu possible lorsque les chimistes ont compris et ont su décrire les liaisons du carbone dans les molécules.

2.1. RAPPEL DES REGLES DU DUET ET DE L'OCTET.

L'atome de carbone ($Z = 6$) possède la répartition électronique $(K)^2(L)^4$. Sa couche externe comporte 4 électrons.

Pour saturer sa couche externe à 8 électrons, l'atome de carbone doit accueillir $8 - 4 = 4$ électrons; il le réalise en formant **4 liaisons covalentes**. L'atome de carbone est alors entouré de **4 doublets liants** en accord avec la règle de l'octet.

Friedrich August Kekule Von Stradonitz
(1829 - 1896)

Chimiste allemand, initiateur de la chimie organique structurale. En 1858, il propose la "tétravalence" du carbone: un atome de carbone établit quatre liaisons de covalence avec ses voisins.

En 1860, il organise à Karlsruhe ce qui peut être considéré comme le premier congrès international de la chimie, afin de définir de façon plus précise les notions d'atomes et de molécules.

En 1865, il propose le modèle, encore utilisé aujourd'hui, de la structure du benzène. C'est à travers un songe, qu'il eut l'idée de cette structure: un soir de l'été de 1856, lorsque somnolant dans un bus londonien, il vit, dans sa torpeur, des atomes gambader en se donnant la main et en tournoyant en une danse vertigineuse. A partir de ce songe, il établit la tétravalence du carbone et décrivit la faculté qu'ont les atomes de cet élément à se lier en chaînes linéaires par une, deux ou trois liaisons.



2.2. COMMENT L'ATOME DE CARBONE SE LIE A SES VOISINS ?

- Il existe une seule possibilité de lier un atome de carbone C avec un atome d'hydrogène H et un atome d'halogène X.

Représentation des liaisons	Exemple de molécule	Modèle moléculaire
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{I} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{I} \end{array}$	

- Avec un autre atome de carbone C, il existe trois possibilités:

	Liaison simple	Liaison double	Liaison triple
Représentation de la liaison	$\begin{array}{c} & \\ -\text{C}- & -\text{C}- \\ & \end{array}$	$\begin{array}{c} \diagup & \diagdown \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagdown & \diagup \end{array}$	$-\text{C}\equiv\text{C}-$
Exemple de molécule			

- Un atome de carbone peut se lier avec un atome d'oxygène par deux types de liaison.

	Liaison simple	Liaison double
Représentation de la liaison	$\begin{array}{c} \\ -\text{C}-\text{O}- \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{O} \\ \diagdown \end{array}$
Exemple de molécule		

- Avec les atomes d'azote N, on étudie essentiellement des liaisons simples.

Représentation de la liaison	Exemple de molécule	Modèle moléculaire
$\begin{array}{c} \\ -\text{C}-\text{N} \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / \\ \text{H}-\text{C}- & \text{N} & \\ & / & \diagdown \\ & \text{H} & \text{H} \end{array}$	

Remarque.

Il existe aussi des composés comportant des liaisons double ou triple entre des atomes de carbone et d'azote.

3. OMNIPRESENCE DE LA CHIMIE ORGANIQUE.

L'examen de notre environnement montre l'importance de la chimie organique dans notre vie quotidienne.

- Les matières plastiques.

On les rencontre dans des domaines aussi divers que l'emballage (sacs, conteneurs, bouteilles..), le bâtiment (menuiserie, plomberie, isolation, vitrerie, étanchéité..), l'appareillage électrique ou électronique (isolants), les transports (carrosseries d'automobiles), l'agriculture (serres), l'agroalimentaire, l'ameublement et, de façon générale, pour la réalisation de matériaux spécifiques (matériel médical, sportif...).

Se rattachant à ce domaine les élastomères de synthèse (caoutchoucs) et les textiles artificiels remplaçant ou améliorant les fibres naturelles.

- Les combustibles et carburants.

Utilisés dans les centrales thermiques ou pour le chauffage domestique, les combustibles, tout comme les carburants des moteurs thermiques sont des hydrocarbures fournis par l'industrie pétrolière.

- Les parfums.

Si la synthèse chimique permet d'obtenir des molécules odorantes inédites, la majorité des constituants des parfums proviennent de l'extraction de produits naturels d'origine végétale.

- Les médicaments.

Des substances extraites du monde végétal ont été utilisées dès l'antiquité. De nos jours, l'industrie pharmaceutique élabore par synthèse des molécules sophistiquées comme celles des contraceptifs oraux ou des antiviraux.

F. Hoffmann: Le père de l'aspirine - Chimiste
(1867 - 1946)

Ce chimiste allemand chercha un dérivé de l'acide salicylique mieux toléré par l'organisme que le salicylate de sodium pour soulager son père qui prenait de fortes doses quotidiennes pour traiter de graves rhumatismes.

Partant des travaux de C.-F. Gerhardt, il développa en 1897, avec H. Dieser, de nouvelles méthodes de synthèse industrielle de l'acide acétylsalicylique pour le compte de la société Bayer.

Les expérimentations qui sont menées ensuite montrent la supériorité de ce produit par rapport à ses prédécesseurs: c'est la naissance de l'aspirine qui est mise sur le marché le 1er février 1899.

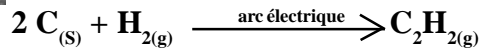


La synthèse organique a mis à notre disposition de nombreux composés qui, dans bien des domaines, ont supplanté les produits naturels ou les matériaux utilisés antérieurement, entraînant une modification considérable de notre mode de vie.

Marcelin Berthelot
(1827 - 1907)



Ce chimiste français ruina définitivement la théorie de la force vitale en multipliant les synthèses de composés organiques comme le méthanol, l'éthanol, l'éthylène... à partir de corps minéraux. On lui doit notamment la synthèse totale (c'est-à-dire la synthèse à partir de corps simples) de l'acétylène $C_2H_{2(g)}$ en 1863:



Friedrich August Kekule Von Stradonitz
(1829 - 1896)

Chimiste allemand, initiateur de la chimie organique structurelle. En 1858, il propose la "tétravalence" du carbone: un atome de carbone établit quatre liaisons de covalence avec ses voisins. En 1860, il organise à Karlsruhe ce qui peut être considéré comme le premier congrès international de la chimie, afin de définir de façon plus précise les notions d'atomes et de molécules.



En 1865, il propose le modèle, encore utilisé aujourd'hui, de la structure du benzène. C'est à travers un songe, qu'il eut l'idée de cette structure: un soir de l'été de 1856, lorsque somnolant dans un bus londonien, il vit, dans sa torpeur, des atomes gambader en se donnant la main et en tournoyant en une danse vertigineuse. A partir de ce songe, il établit la tétravalence du carbone et décrivit la faculté qu'ont les atomes de cet élément à se lier en chaînes linéaires par une, deux ou trois liaisons.

F. Hoffmann: Le père de l'aspirine - Chimiste
(1867 - 1946)

Ce chimiste allemand chercha un dérivé de l'acide salicylique mieux toléré par l'organisme que le salicylate de sodium pour soulager son père qui prenait de fortes doses quotidiennes pour taïter de graves rhumatismes. Partant des travaux de C.-F. Gerhardt, il développa en 1897, avec H. Dieser, de nouvelles méthodes de synthèse industrielle de l'acide acétylsalicylique pour le compte de la société Bayer.

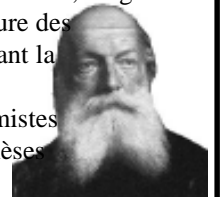


Les expérimentations qui sont menées ensuite montrent la supériorité de ce produit par rapport à ses prédécesseurs: c'est la naissance de l'aspirine qui est mise sur le marché le 1er février 1899.

En 1828, le chimiste allemand Friedrich Wöhler synthétise l'urée, corps présent dans l'urine des animaux. Pour la première fois une molécule organique, c'est-à-dire appartenant au monde biologique, fut obtenue *ex vivo*, à l'aide uniquement de composés minéraux, inorganiques. Cela réfuta alors le quasi-dogme de la "force vitale" qui supposait qu'un organisme vivant était indispensable à la formation des composés organiques. C'est ainsi que le 28 février 1828 Wöhler écrivit à Berzélius: "Je peux faire l'urée sans avoir besoin d'un rein, ou somme de tout animal, qu'il soit homme ou chien."



En 1858, un autre chimiste allemand, August von Kékulé, propose une écriture des formules des molécules précisant la disposition des atomes. Cette nouvelle écriture aida les chimistes à réaliser des nouvelles synthèses de corps.



En 1987, le français Jean-Marie Lehn obtient le prix Nobel de Chimie pour la synthèse de molécules sortes de cages moléculaires aux propriétés exceptionnelles, capables de reconnaître d'autres molécules avec lesquelles elles peuvent réagir.



Une application ?

La capture sélective des substrats sphériques que sont les cations de métaux alcalins, soit, par ordre croissant de taille, les ions lithium, sodium, potassium, rubidium et enfin césium. Les différences entre les diamètres sont très faibles (de l'ordre du dixième de nanomètre). Il est pourtant possible de concevoir des molécules réceptrices capables d'englober préférentiellement en leur sein l'une de ces espèces sphériques. Ces molécules sont appelées cryptants, du mot "crypte", en raison de la cavité qu'elles contiennent. Dans notre exemple d'ions alcalins, les cryptants en question sont des polyéthers macropolycycliques azotés. En jouant, lors de leur synthèse, sur la taille des ponts reliant les parois de la "cage", il est possible de faire varier avec précision la dimension du réceptacle et donc de décider au préalable quel ion sera capturé formant ainsi un "cryptate".

Une autre application ?

On pourrait concevoir des molécules cages dans le but de transporter des substances actives au coeur de la cible choisie. Nous aurions alors des chevaux de Troie capables de faire franchir à leur passager, par exemple un fragment d'ADN destiné à la thérapie génique, des barrières normalement infranchissables que sont les membranes cellulaires.



Le **PP** et le **PUR** sont utilisés dans les coques de chaussures de ski pour:

- leur **rigidité**,
- leur **tenue aux chocs**
- et leur **résistance au froid et à l'eau**.

Les mousses de **PUR**:

- **très souples**,
- **faciles à former**
- et **très isolantes**,

constituent la base des chaussons de chaussures de ski.

Le **KEVLAR** est employé pour tisser les voiles des bateaux de compétition, de part sa très grande résistance à la traction.

La coque emploie des **polyesters insaturés renforcés à la fibre de verre**, en raison:

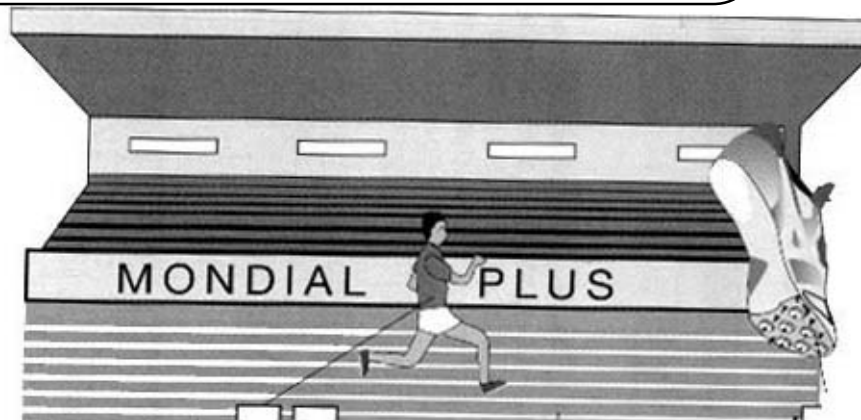
- de leur **rigidité**
- et de leur **tenue à la fatigue**.



Enfin, les fibres textiles tirées des matières plastiques comme le **PET** "habillent l'exploit". Les vêtements en fibres synthétiques présentent des caractéristiques très intéressantes:

- **légèreté**,
- **robustesse**, auxquelles on peut allier les qualités d'une seconde peau;

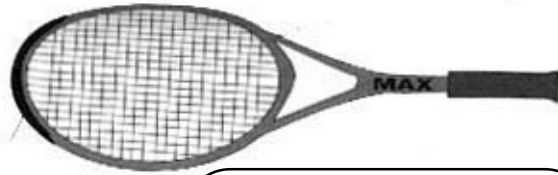
Ainsi les **PA, PEBA et PTFE** permettent de tisser des tissus "**perpirants**", qui laissent passer la vapeur d'eau produite par la transpiration, mais font barrière à l'eau de pluie. Ces produits sont utilisés pour les vêtements, les tentes, les sacs à dos, les sacs de couchage.



La diversité des **mousses de PUR** s'affirme enfin par leur utilisation dans les pistes d'athlétisme et les **terrains de sport**. Dans cette dernière application, le **PVC peut aussi être employé**. Ces sols sportifs en matière plastique ont permis:

- assurent le confort de l'athlète
- de réduire au minimum les pertes d'énergie dues au frottement et aux chocs pied / sol.
- de plus ils sont d'une grande longévité
- et insensibles aux intempéries.

Les athlètes n'ont plus à courir sur une "cendrée lourde".



Dans les raquettes de tennis, le **KEVLAR**:

- réduit le choc de l'impact de la balle.

Lié à la fibre de carbone au sein des résines époxy, il offre:

- une très grande rigidité
- et légèreté.

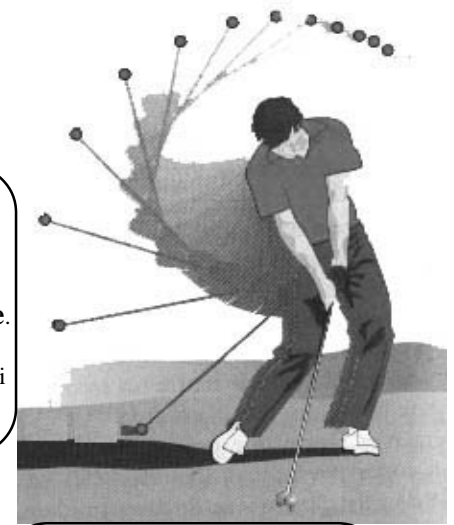
Il est employé pour ces raisons dans les cadres de vélos, les mâts de planches à voile.



Le **PEBAX** appartient à la famille des PEBA. C'est une matière plastique, susceptible:

- de se déformer
- et de reprendre sa forme initiale.

Il a toutes les qualités des meilleurs caoutchoucs, mais est mis en oeuvre aussi facilement qu'une matière plastique normale.



Le **KEVLAR** est utilisé dans les manches de club de golf. Il fléchit moins en torsion, est plus résistant, donc plus précis. Ceci, ajouté à sa légèreté, permet d'avoir des têtes de clubs plus lourdes, et d'envoyer la balle plus loin.

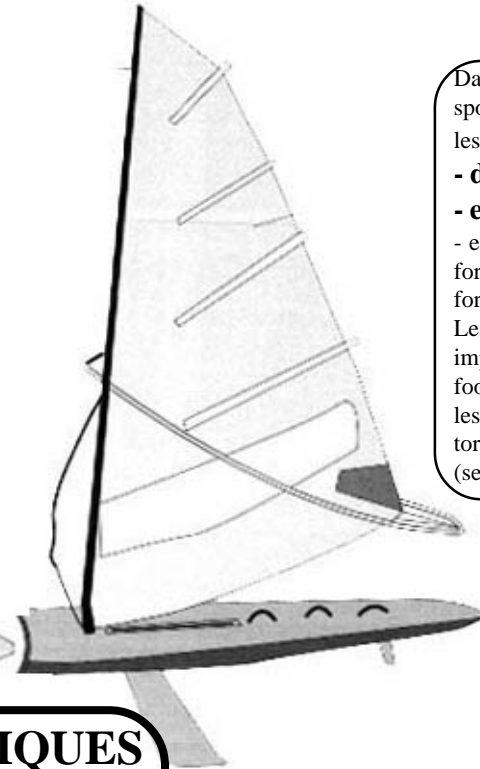
Pour les mêmes raisons que les chaussures de ski, le **PP** permet de réaliser des coques de planches à voile.

On peut également rechercher des matières plastiques qui donnent à la fois **un bel aspect de surface et une protection**, comme l'**ABS** et les **PA** sur la coque des planches à voile.

Les mousses de PSE ou de PUR sont d'une grande légèreté, grâce à elles, les planches à voile ne pèsent que 8 à 12 kg pour une longueur de 2 m à 3,5 m et sont bien entendues insubmersibles.

Pour les mêmes raisons que les raquettes de tennis, le **KEVLAR** est employé pour les mâts de planches à voile.

Les voiles de planche à voile sont en **PET**, matière plastique **résistante et transparente**.



Dans le domaine des chaussures de sport, les matières plastiques comme les **PEBA** offrent les avantages:

- de la rigidité
- et de l'élasticité,
- et la capacité de reprendre leur forme originelle même après une très forte déformation.

Les PEBA sont utilisés de façon importante dans les chaussures de football et de ski de fond (semelles), les chaussures de tennis (barres de torsion), les chaussures d'athlétisme (semelles et crampons).



Très rigides, les mousses de **PUR** sont utilisées dans les noyaux de skis. Autour des noyaux de ski, on utilise le **KEVLAR** comme renfort, car léger et efficace en traction, il absorbe les chocs et les vibrations et rigidifie le ski.

Les semelles de ski sont réalisées en **PEHD à très haut poids moléculaire** dont on recherche:

- les qualités de glisse
- conjuguées avec une bonne résistance à l'abrasion.

Bien entendu, les skis ne seraient pas complets sans des carres en **acier spécial**.

LES MATIERES PLASTIQUES ET LE SPORT.