

Les grandes familles de matériaux

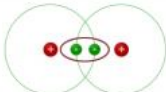
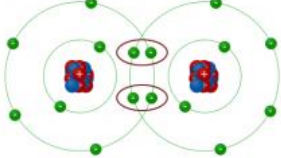
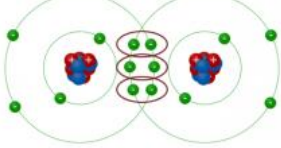
1. Classification des matériaux par la nature de leurs liaisons

Parmi les nombreuses manières de classer les matériaux, on a choisi dans ce cours de s'appuyer sur les différentes natures des liaisons chimiques qui lient les atomes dans la matière. En effet, celles-ci engendrent des propriétés physico-chimiques bien caractéristiques de chaque classe. On s'intéresse alors dans un premier temps aux différentes liaisons chimiques que l'on rencontre dans la nature.

La liaison covalente

C'est une liaison forte. Elle est assurée par la mise en commun de deux électrons de deux atomes différents pour compléter la couche externe de chaque atome (respecter la règle du duet ou de l'octet). Elle apparaît entre deux atomes de non-métaux.

Par exemple, voici une illustration de la formation des molécules : H_2 avec une liaison covalente simple, O_2 avec une liaison covalente double et N_2 avec une liaison covalente triple.

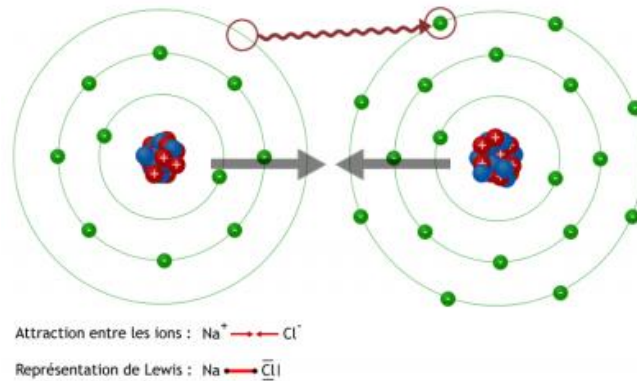
Liaison	Représentation	Lewis
Simple		$H-H$
Double		$O=O$
Triple		$N\equiv N$

La représentation de Lewis, indique par un tiret la formation d'une liaison covalente entre deux atomes.

La liaison ionique

C'est une liaison forte. Elle est assurée par le transfert d'un électron d'un atome à l'autre. Elle apparaît entre un atome d'un métal et un atome d'un non-métal. Après leur liaison, les deux atomes deviennent des ions chargés électriquement. Par exemple, le sel est un cristal ionique de $NaCl$. L'atome de sodium Na cherche à perdre un électron compte tenu de sa structure alors que le chlore cherche à en

capter un. Il y a alors échange de l'électron de valence du sodium vers le chlore. On obtient alors un ion sodium Na^+ et un ion Chlorure Cl^- . Les deux ions sont de charges opposées, ils s'attirent par interaction électrostatique. C'est cette attraction que l'on appelle liaison ionique.

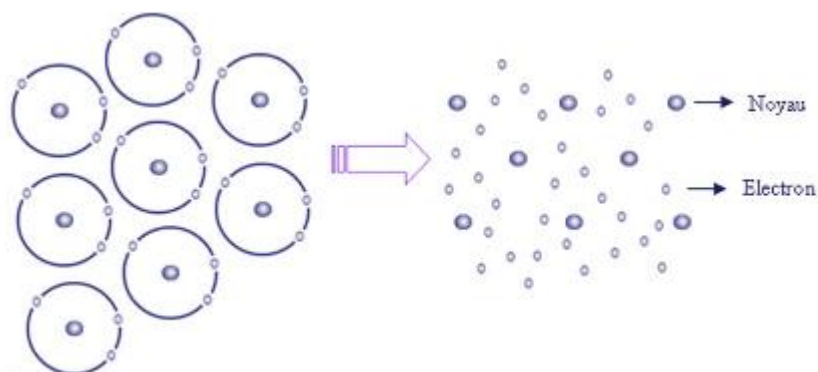


La liaison métallique

C'est une liaison forte. Afin de comprendre simplement cette liaison, il faut imaginer que tous les atomes du métal mettent en commun tous leurs électrons de valence. Les atomes du métal perdent leurs électrons de valence et deviennent des ions positifs, qui constituent l'ossature du cristal. Ils occupent les uns par rapport aux autres des positions fixes. Les électrons ainsi libérés constituent une sorte de gaz d'électrons, qui se répand dans le cristal et qui baigne les ions. Ce modèle explique la forte cohésion du cristal métallique car la mise en commun d'électrons conduit à des liaisons fortes.

Ils sont constamment en mouvement sous l'effet de l'agitation thermique, de façon totalement désordonnée. Sous l'action d'un champ électrique, ils peuvent avoir un mouvement d'ensemble et donner naissance à un courant électrique.

Représentation schématique de la liaison métallique :

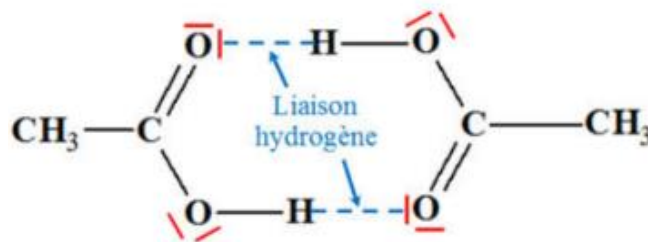


Les liaisons de faible énergie

Les forces de Van der Waals résultent d'interactions électrostatiques entre atomes ou molécules.

La liaison hydrogène est une interaction électrostatique intermoléculaire impliquant un atome d'hydrogène et un atome électronégatif comme l'oxygène, l'azote et le fluor. Son intensité est intermédiaire entre celle d'une liaison covalente et celle des forces de Van der Waals.

Exemple : Liaisons hydrogène entre deux molécules



2. Les grandes classes de matériaux

1-Les matériaux métalliques

Ce sont les métaux purs et leurs mélanges, ou alliages, comportant essentiellement des liaisons métalliques. Les propriétés de ces matériaux seront développées dans un prochain chapitre.

Voir la vidéo « Métaux et liaisons métalliques » :

<https://www.youtube.com/watch?v=-msBDCC2LMA>

On peut citer en exemple : l'aluminium, le fer et le magnésium les plus abondants sur Terre.

Quelles sont les grandeurs physiques souvent rencontrées dans une matériau à propos des métaux ?

2-Les minéraux

Ce sont les roches, oxydes, verres minéraux, céramiques comportant des liaisons ioniques et/ou des liaisons covalentes.

a. Les roches

Les roches sont les constituants principaux de la lithosphère, la croûte terrestre. Ce sont des agrégats de minéraux, à structure cristalline le plus souvent. Une structure cristalline est un agencement particulier des atomes au sein d'un cristal qui se répète périodiquement dans l'espace.

Classification des roches

Il existe trois grands types de roches :

Les roches ignées ou magmatiques. Elles constituent la majeure partie du volume de la croûte terrestre. Ce sont les roches de nos montagnes par exemple. On les sépare en deux catégories :

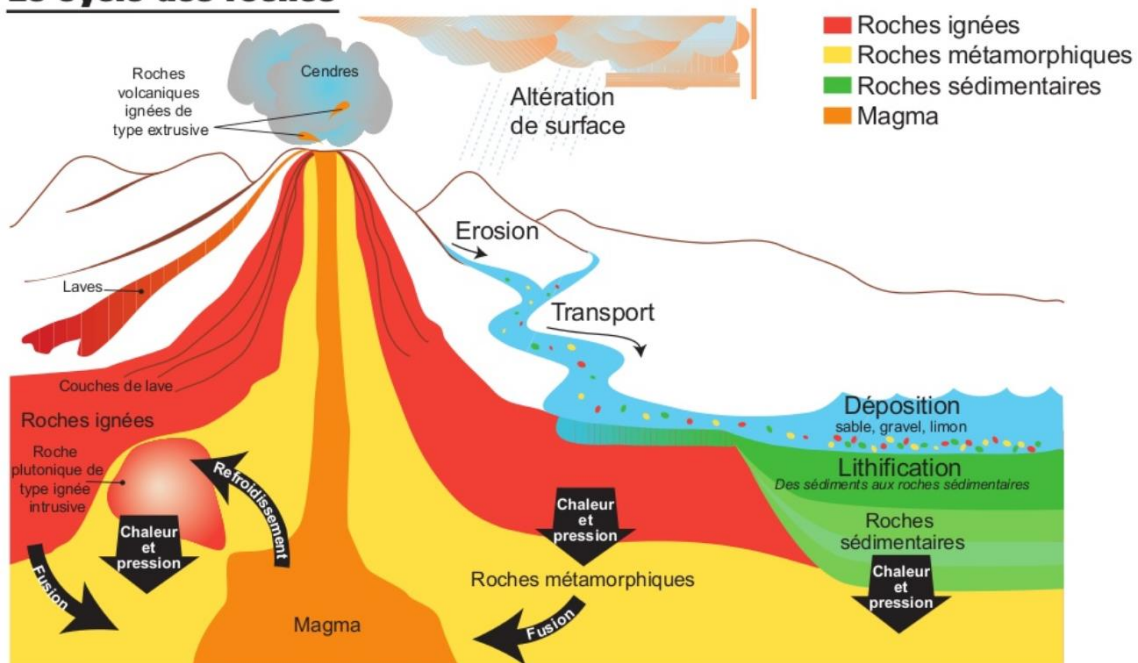
Les roches magmatiques plutoniques, se forment par refroidissement lent (plusieurs dizaines de milliers d'années), sous haute pression et grande profondeur, entièrement cristallisées.

Les roches magmatiques volcaniques, refroidissement brutal en surface, à l'occasion d'une éruption, partiellement cristallisées.

Les roches sédimentaires. Avec le temps, les roches ignées s'altèrent et se désagrègent. L'érosion, effet de l'eau de la glace, du vent, transporte ces particules pour générer des zones de dépôts meubles, les sédiments (sable, boues, matières organiques). Ceux-ci s'empilent et se compactent. Ils deviennent de plus en plus denses et durs et se transforment en roches sédimentaires.

Les roches métamorphiques. Par le mouvement des plaques tectoniques, certaines roches ignées et sédimentaires sont enfouies et subissent, par fortes pression et température, des transformations conséquentes (recristallisation notamment) ce qui fait apparaître de nouveaux minéraux.

Le cycle des roches



Caractéristiques des pierres

Elles se caractérisent par leur densité, résistance à l'écrasement, l'apparence de la cassure, la porosité (l'argile est imperméable, le grès laisse l'eau s'infiltrer), la gélivité (une pierre gélive ne résiste pas aux cycles de gel et de dégel). La dureté d'une pierre est sa capacité à résister au poinçonnement. Elles sont classées de très tendre à ultra dure. L'échelle de Mohs, de 1 à 10, classe aussi les pierres en fonction de leur dureté.

Echelle de Mohs		
Dureté	Minéral	Test
1	Talc	Friable sous l'ongle
2	Gypse	Rayé par l'ongle
3	Calcite	Rayé par une pièce de monnaie
4	Fluorite	Facilement rayable avec un couteau
5	Apatite	Rayé au couteau
6	Orthose	Rayé avec une lime
7	Quartz	Raye une vitre
8	Topaze	Rayé par des outils au tungstène
9	Corindon	Rayé par le carbure de silicium
10	Diamant	Rayé par un autre diamant

b. Le verre et la céramique

Ces deux matières sont très proches de par la nature de leurs constituants (minéraux, silice pour le verre et terre argileuse pour la céramique), la similitude du mode de production (cuisson) et par certaines de leurs propriétés physiques. Une différence fondamentale distingue cependant les deux matériaux. Lors de la montée en température, la silice passe par une fusion, alors que la terre argileuse va se solidifier sans atteindre cette transition. Le verre acquiert alors une structure atomique désordonnée qui lui procure sa transparence.

L'étude des verres et des céramiques est l'objet d'un prochain chapitre.

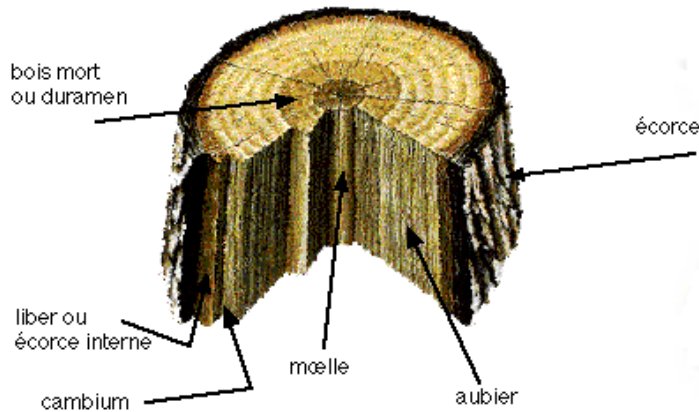
3-Les matériaux organiques

Ce sont les matériaux d'origine biologique, issus du vivant, les matières plastiques, les polymères de synthèse, les textiles. Ils comportent des liaisons covalentes et des liaisons simples.

a. Le bois

Matériau composite naturel, le bois est un ensemble organisé de biopolymères.

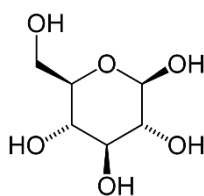
Le bois est un matériau facile d'usage, assez bon marché, avec un bilan écologique compétitif.



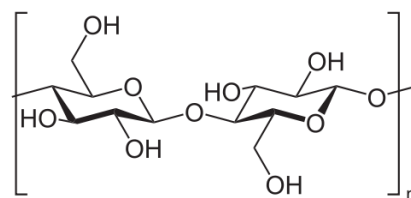
Sur une coupe de bois, on distingue les différentes parties du tronc. Un arbre croît par l'extérieur, en ajoutant chaque année une couche sur sa périphérie : le cerne annuel. Dans l'exploitation du bois, c'est le bois parfait ou duramen qui est utilisé. L'aubier est éliminé car gorgé de toutes les substances nutritives de l'arbre et donc prisé par les parasites. Certains aubiers, cependant, sont indistincts du bois parfait. Leur épaisseur est aussi très variable suivant les essences. On n'utilisera pas non plus le liber qui véhicule la sève descendante.

La structure microscopique du bois révèle qu'il est constitué de trois polymères naturels, la cellulose, les hémicelluloses et la lignine dans des proportions approximatives 50/25/25 qui varient en fonction de l'espèce.

La cellulose : commune à toutes les espèces végétales, elle est à l'origine de la nature fibreuse des cellules du bois et assure sa résistance et sa rigidité. Elle est localisée dans les parois des cellules végétales. Elle est constituée de 200 à 20000 monomères de glucose mis bout à bout et assemblés par des liaisons covalentes impliquant un atome d'oxygène.

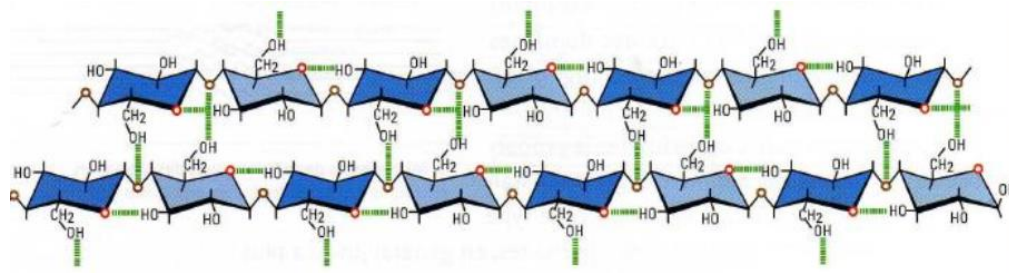


Glucose



motif de la cellulose

Puis, de nombreuses liaisons hydrogène permettent un assemblage en forme de ruban : les microfibrilles, schéma ci-dessous.



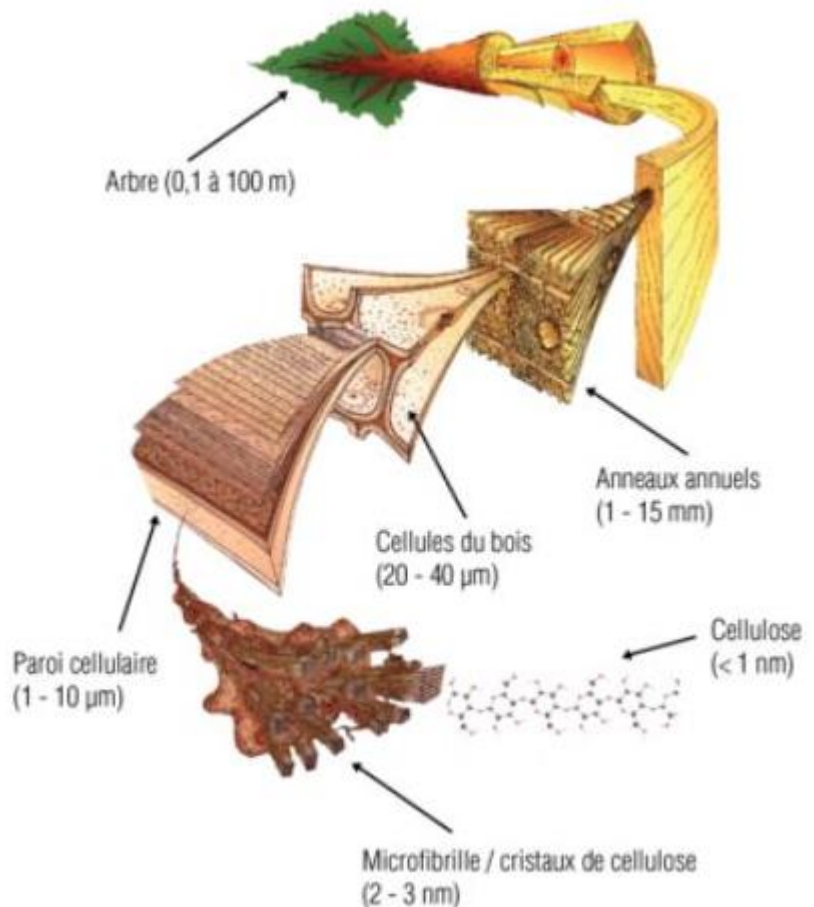
Sur le schéma ci-contre, on peut voir que les microfibrilles sont elles mêmes contenues dans la fibrille constituant la paroi végétale des cellules du bois.

Les hémicelluloses :

Elles enrobent la cellulose. Hydrophiles et capables de gonfler, les hémicelluloses sont d'ailleurs responsables des variations dimensionnelles du bois.

La lignine :

Elle agit comme un ciment entre les fibres du bois et comme élément rigidifiant à l'intérieur des fibres. C'est un polymère naturel thermoplastique. Elle permet la déformation du bois par étuvage.



Du fait de sa structure, le bois peut présenter de nombreux défauts, ce qui en fait aussi son originalité. Il peut présenter des nœuds, des fissures, des gélivures.

D'autre part, au cours du séchage, le bois se rétracte et les pièces de bois auront tendance à se déformer selon les trois axes, on parle de retrait.

Enfin, un bois mouillé se comporte comme une éponge, il gonfle. Ce qui modifie ces caractéristiques. Un bois est considéré comme sec quand il a un taux d'humidité entre 18 et 22 % en masse.

b. Papier et carton

Le papier est d'origine chinoise et date du deuxième siècle de notre ère, élaboré à partir de vieux chiffons, de fibres végétales et d'une recette longtemps restée secrète.

Dans sa composition, le papier est constitué jusqu'à 95 % de fibres de cellulose issues du bois, le reste étant des colles, des liants et des pigments.

Pour fabriquer le papier, on élabore d'abord une pâte à papier en éliminant la lignine de la matière première. Ensuite on blanchit la pâte, puis on rajoute des charges minérales afin de rendre la pâte encore plus blanche. Puis, on rajoute un agent de collage qui permet au papier d'être moins absorbant, sans quoi il est impossible d'écrire correctement dessus. La feuille est ensuite fabriquée dans une machine à papier où la pâte est étirée jusqu'à obtenir une feuille.

c. Les textiles

La famille « textiles » fait plus référence à des notions de mise en œuvre que de matière. En effet, de nombreux matériaux peuvent devenir « textiles » (plastiques, métaux...), la matière de base étant la fibre transformée en fil.

On distingue deux grands types de fibres :

Les fibres naturelles : elles représentent moins de la moitié des fibres utilisées. On y retrouve les fibres végétales (à base de cellulose, comme le coton, le chanvre, le kapok, le lin...) ; les fibres animales (laine et soie) et les fibres minérales (verre, basalte...).

Les fibres chimiques : majoritaires, se divisent en deux catégories :

Les fibres artificielles, à base végétale mais qui ont été modifiées, comme la cellulose pour donner, par exemple, la viscose ;

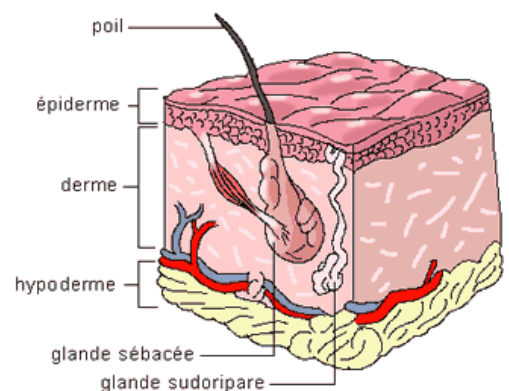
Les fibres synthétiques, polyamides, polyesters, kevlar...

d. Cuir et peau

Les cuirs sont le plus souvent préparés à partir de peaux de vaches, chevaux, moutons, chèvres, porcs, crocodiles, poissons.

La peau fraîche est conservée par salage, ce qui la déshydrate et ainsi ralentit la dégradation causée par les micro-organismes présents.

Une fois la peau arrivée à la tannerie, elle subit le travail de rivière qui est une succession de cinq étapes ce qui permet d'obtenir un matériau souple constitué exclusivement du derme de la peau.



Ensuite, au cours du tannage, la peau d'animal est transformée en cuir grâce à des tanins. Il existe des tanins végétaux (écorces de chêne ou de sapin, fruits, racines...), des tanins minéraux (soufre, sels de chrome, d'aluminium, de fer) ou des tanins organiques.

Enfin une succession d'étapes de corroyage-finissage permet d'obtenir un produit fini.

Le cuir possède de bonnes propriétés qui lui permettent d'exister dans de nombreux domaines industriels.

Le cuir ne craint pas l'eau, résiste aux moisissures, peut résister au feu (suivant son traitement). C'est un bon isolant thermique (car il renferme beaucoup d'air).

Il a de bonnes propriétés mécaniques, haute résistance en traction, à la déchirure, aux frottements et à la perforation. Ce qui en fait un matériau de choix dans l'automobile, pour les équipements sportifs et l'ameublement par exemple.

e. Les plastiques

Structure

Les matières plastiques sont des matériaux constitués d'un ensemble de macromolécules (longues chaînes de petites molécules, les monomères, assemblées les unes aux autres) dont l'atome central est le carbone. Dans de rares cas, le silicium remplace le carbone comme dans le silicone.

Les hydrogènes complètent la structure de base, qui accueille ensuite des atomes d'oxygène, d'azote, de chlore ou de fluor.

Obtention

La polymérisation est l'opération qui permet de former les macromolécules, il en existe de deux types la polyaddition et la polycondensation.

Origine

Les matières premières nécessaires à l'élaboration des plastiques sont issues majoritairement du pétrole, mais peuvent aussi provenir, dans une moindre mesure, de bois ou de végétaux.

Comportement à la chaleur

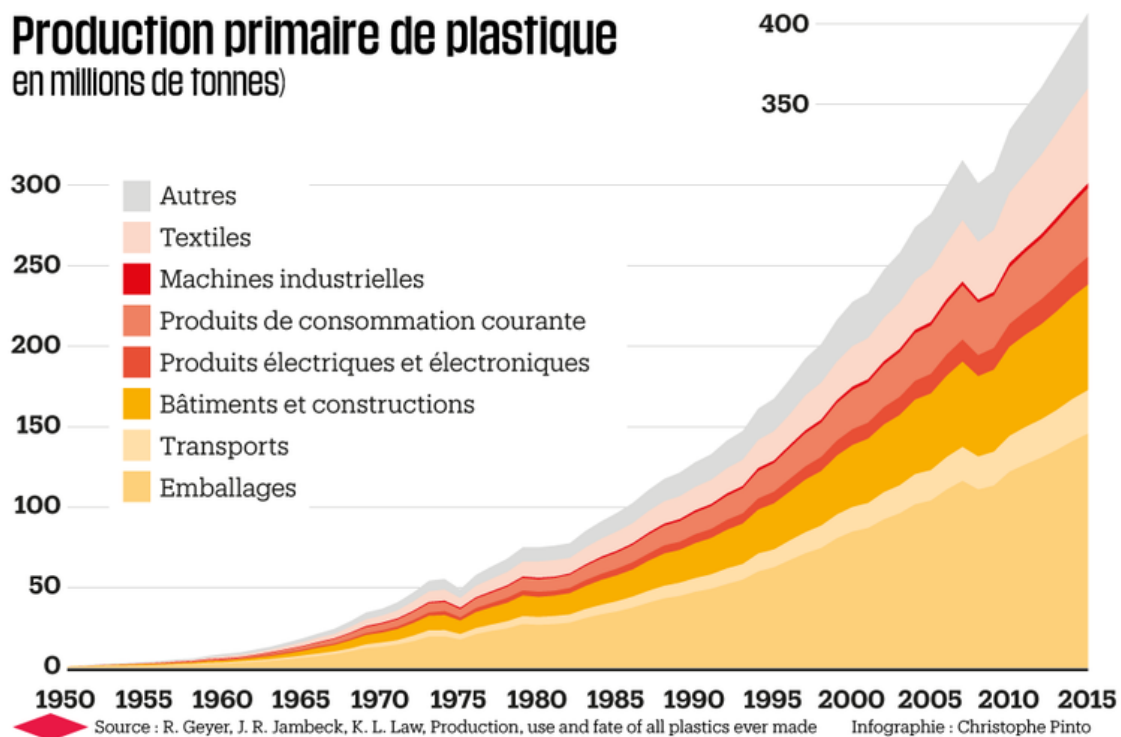
Les thermoplastiques se ramollissent en chauffant et durcissent en se refroidissant. L'opération est réversible sous l'action de la chaleur, ce qui leur donne une grande flexibilité de transformation et une grande facilité de recyclage. Ils représentent plus des trois quarts de la production des objets en plastiques.

Exemples de thermoplastiques : polyéthylène, polystyrène, PVC, PMMA...

Les thermodurcissables durcissent par l'action de la chaleur. L'opération est irréversible une fois soumis à la chaleur. Le recyclage direct est donc impossible. Exemples de thermodurcissables : polyuréthane, époxy, polyester.

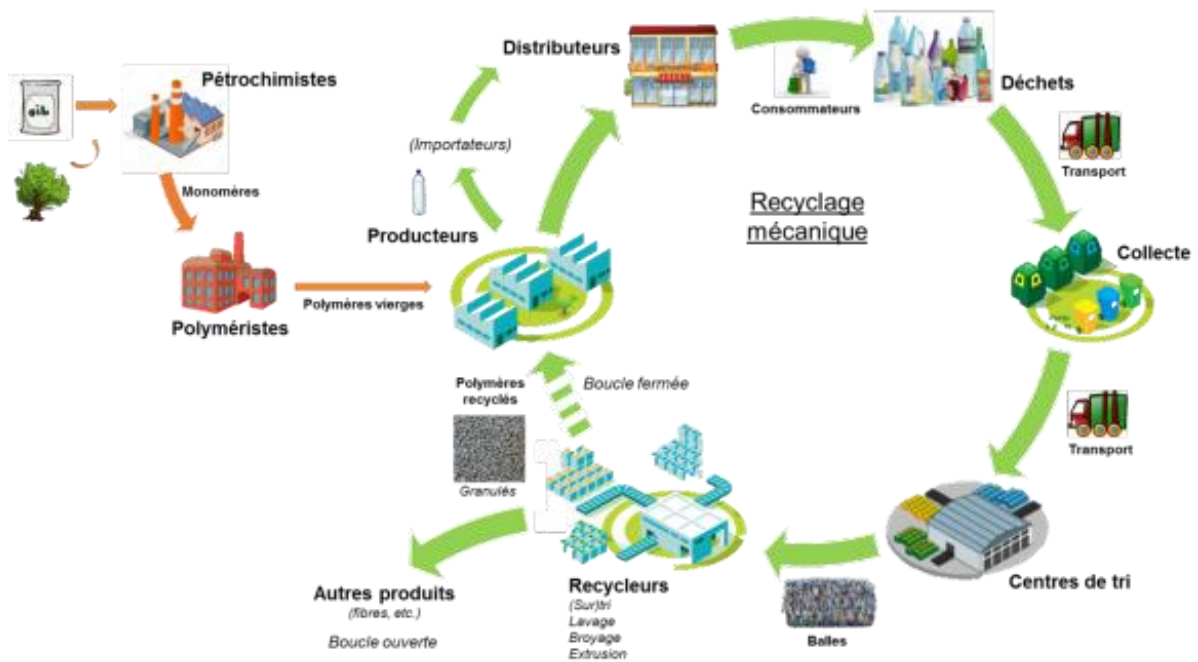
Evolution de la consommation mondiale

Les plastiques se retrouvent partout autour de nous. Ils sont très abordables en termes de prix, ont des propriétés physiques très importantes et adaptées à de multiples utilisations. On les retrouve dans beaucoup de domaines d'activités et surtout pour les emballages. Pour toutes ces raisons, la production mondiale n'a cessé de se démultiplier depuis les années 1950 :



Aspect environnemental

Le plastique a des effets nocifs sur l'environnement. Le plus gros désavantage du plastique, c'est qu'il n'est pas biodégradable ou alors, il prend énormément de temps pour se dégrader. C'est pour cela, qu'on incite la population à recycler le plastique. Voici la chaîne de valeur du PET (polyéthylène téréphtalate), c'est un plastique utilisé dans la fabrication de bouteilles d'eau minérale, de boissons gazeuses et de barquettes à usage alimentaire :



1-Les matériaux composites

Tous les matériaux possèdent des propriétés qui les caractérisent :

Les verres et les céramiques sont rigides, cassants et donc fragiles.

Les métaux durables, ductiles (peuvent être allongés sans se rompre) et lourds.

Les plastiques assez souples, légers mais peu rigides.

L'objectif des composites est de combiner les propriétés favorables de plusieurs matériaux afin d'obtenir un nouveau matériau plus performant avec des rigidités de structure fortes pour des masses volumiques réduites.

On peut définir un matériau composite comme un matériau étant constitué de deux éléments : la matrice et un élément de renfort.

Les renforts

Ils se présentent la plupart du temps sous forme de fibres. Il en existe de plusieurs types :

Les fibres de verre, constituées de fibres à base de silice, tressées à l'aide de longs fils de 5 à 10 microns de diamètre. Les composites obtenus ont des propriétés mécaniques proches des alliages métalliques. Ils sont peu onéreux mais sont sensibles aux rayures et nécessitent souvent un traitement de surface type gel Coat.



Les fibres de carbone, se caractérisent par leur faible densité 1,7 à 1,9 et une résistance élevée à la traction et à la compression. Elles se retrouvent dans des matériaux composites ayant de bonnes propriétés mécaniques en étant nettement plus légères que des pièces métalliques. Elles sont produites à partir de la carbonisation des fibres de polymères de polyacrylonitrile (PAN).



Les fibres polyamides, connues sous le nom de kevlar.

Les matrices

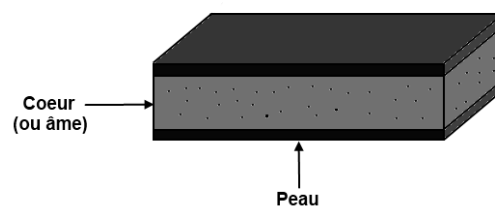
Les matériaux constituant la matrice jouent le rôle de liant des fibres et assurent le transfert des contraintes à l'intérieur des renforts. Les matrices courantes sont des résines :

Résines polyesters, résines époxy (meilleures propriétés mécaniques), résines phénoliques, comme la bakélite, qui ont une bonne tenue à la température.

Il existe aussi des matrices métalliques, notamment en aluminium renforcé par des particules d'alumine ou de carbure de silicium, utilisés dans les axes de transmission des camions ou des disques de frein automobile.

Les matériaux sandwichs

C'est un matériau constitué d'un cœur, généralement léger et ayant de faibles caractéristiques mécaniques, pris en sandwich entre deux peaux faites d'un matériau ayant de fortes caractéristiques mécaniques. Les peaux minces rigides et résistantes sont collées sur un cœur fait d'un matériau tendre et léger. Les matériaux sandwichs ont ainsi une très bonne résistance à la flexion et une très grande légèreté.



L'âme peut être :

- En mousse, polyuréthane, pvc, polyéthylène, polystyrène, bois de balsa...
- Avoir une structure de nids d'abeilles en alliage d'aluminium, en papier Kraft imprégné, en tissu de verre imprégné d'une résine...
- Avoir une structure ondulée, comme le carton ondulé par exemple.

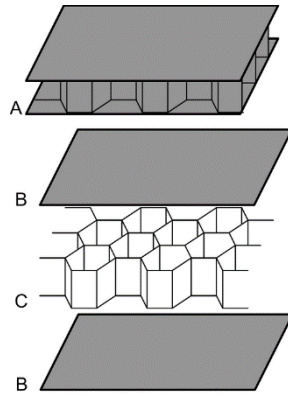


Schéma d'un sandwich composite assemblé (A) et de ses peaux (B) et de son âme en nid d'abeilles (C)

Les deux peaux peuvent être :

- En bois
- En tôle métallique (aluminium, titane ou acier)
- En matériaux composites stratifiés.