

LES MATÉRIAUX



Matériaux combinaison spatiale : protection contre les températures extrêmes, les radiations électromagnétiques...



*Matériaux = déchets...
Futurs ingénieurs,
soyez vigilants...*

MATÉRIAUX ORGANIQUES.....	2
1 MATÉRIAUX ORGANIQUES D'ORIGINE NATURELLE	2
2 MATÉRIAUX ORGANIQUES D'ORIGINE SYNTHÉTIQUE	2
2.1 LES THERMOPLASTIQUES.....	2
2.2 LES THERMODURCISSABLES.....	3
2.3 LES ELASTOMERES	3
2.4 DIFFERENCE ENTRE LES STRUCTURES MOLECULAIRES DES PLASTIQUES.....	3
CÉRAMIQUES	4
1 ÉLABORATION D'UNE CÉRAMIQUE	4
2 LES CÉRAMIQUES TRADITIONNELLES	4
3 LES CÉRAMIQUES TECHNIQUES.....	4
4 LES BIOCÉRAMIQUES	5
5 LES CÉRAMIQUES PIEZOÉLECTRIQUES	5
MATÉRIAUX MÉTALLIQUES	6
1 LE PRINCIPE DE FABRICATION DE L'ACIER	6
2 LES RESSOURCES.....	7
3 CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX MÉTALLIQUES	7
3.1 ACIERS DE CONSTRUCTION GENERALE	7
3.2 ACIERS NON ALLIÉS (POUR TRAITEMENTS THERMIQUES) (PERMET DE MODIFIER LES CAPACITÉS MÉCANIQUES DU MATÉRIAU).....	7
3.3 ACIERS FAIBLEMENT ALLIÉS (POUR TRAITEMENTS THERMIQUES)	7
3.4 ACIERS FORTEMENT ALLIÉS / ACIERS INOXYDABLES (« INOX »).....	8
3.5 LES ALLIAGES LEGERS.....	8
3.6 LES AUTRES MATÉRIAUX MÉTALLIQUES.....	8
MATÉRIAUX COMPOSITES	9
1 LES COMPOSITES À MATRICES ORGANIQUES (CMO)	9
2 LES COMPOSITES À MATRICES CÉRAMIQUES (CMC)	10
3 LES COMPOSITES À MATRICES MÉTALLIQUES (CMM)	10

MATÉRIAUX ORGANIQUES

Si l'homme est encore sur terre aujourd'hui, c'est grâce à sa faculté d'adaptation dans le milieu dans lequel il vit. Il a sans cesse cherché à utiliser ce qu'il trouvait autour de lui pour vivre et améliorer sa situation.

La terre recèle d'éléments indispensables à notre survie. Mais depuis l'avènement de l'industrialisation vers la fin du 19^e siècle, associé à une demande croissante en termes de matières et d'énergies, notre planète est mise à mal. Ses ressources sont pillées sans relâche.

Une prise de conscience est impérative afin de protéger et d'utiliser « intelligemment » toutes les ressources : les matériaux organiques sont les premiers concernés : le bois, le charbon, le gaz, le pétrole...

Les différentes pollutions engendrées, de l'eau, de l'air, de la terre, doivent nous faire prendre conscience de l'équilibre fragile dans lequel nous vivons.

1 MATÉRIAUX ORGANIQUES D'ORIGINE NATURELLE

La liste des matériaux organiques d'origine naturelle est longue.

Ils sont utilisés pour la **construction** et **l'isolation des bâtiments** (bois, chanvre, laine de mouton, liège...), pour **s'habiller** (laine, cuir, coton, soie...). Le caoutchouc (issu de l'hévéa) intervient dans la fabrication des pneus.

Certains matériaux organiques ont des propriétés étonnantes : la soie qui compose la toile d'araignée est 10 fois plus résistante que l'acier et équivaut à 3 fois celle du Kevlar. On s'en sert également en guise d'emplâtre sur les blessures, comme un antiseptique naturel.

Saignée sur un hévéa afin de récolter le caoutchouc



Toile d'araignée, résistance extrême



2 MATÉRIAUX ORGANIQUES D'ORIGINE SYNTHÉTIQUE

On trouve essentiellement les **plastiques** (<http://www.laplasturgie.fr/index.php>). Ce sont des matériaux obtenus à partir du pétrole.

Ils sont isolants électriquement, très légers, quelquefois déformables, plutôt faciles à usiner, avec des textures esthétiques, étanches et inoxydables.

Leur utilisation est très vaste, d'une gaine isolant à un câble électrique en passant par un tableau de bord de voiture ou encore la gomme d'un pneumatique. On distingue trois sous familles.

2.1 Les thermoplastiques

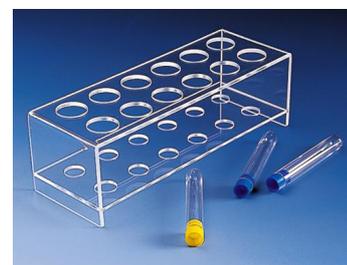
Un thermoplastique désigne une matière qui se ramollit d'une façon répétée lorsqu'elle est chauffée au-dessus d'une certaine température ; mais qui au-dessous, redevient dure. Une telle matière conservera donc toujours de manière réversible sa thermoplasticité initiale. Cette qualité rend le matériau thermoplastique potentiellement recyclable (après broyage).



Polychlorure de vinyle (PVC)



Polystyrène (PS)



Plexiglas (PMMA)



Chaises en Polycarbonate (PC)



Bouteilles en Polyéthylène téréphtalate (PET)



Poêle en Polytétrafluoroéthylène ou téflon (PTFE)

2.2 Les thermodurcissables

La transformation d'un matériau thermodurcissable fait intervenir une polymérisation, laquelle est irréversible et conduit à un produit fini solide, généralement rigide. Le produit devient non transformable, ce qui empêche son recyclage.



Poignée en bakélite



Chaise en Formica



Résine_Epoxy



Coque de piscine ... ou vêtements techniques en Polyester



Epoxy utilisé comme adhésif

2.3 Les élastomères

Un élastomère est un polymère présentant des propriétés élastiques. Il supporte de très grandes déformations avant rupture. Le terme de « caoutchouc » est un synonyme usuel d'élastomère.

Les matériaux élastomères tels les pneumatiques sont souvent à base de caoutchouc naturel (sigle NR) et de caoutchouc synthétique (coupage).

Lunettes en élastomère



Pneu en élastomère

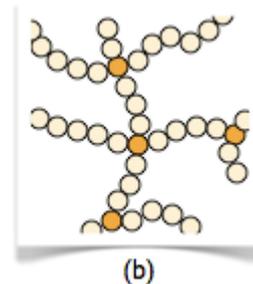
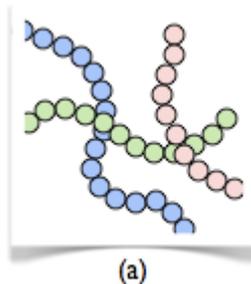


2.4 Différence entre les structures moléculaires des plastiques

La structure moléculaire d'un polymère thermoplastique (fig. (a)) peut être familièrement assimilée à « un plat de spaghettis » alors que la structure moléculaire d'un polymère thermodurcissable (fig. (b)) sera plus associée à « un filet de pêche ».

Cette différence fondamentale est à l'origine de propriétés bien distinctes :

- les thermoplastiques sont moins rigides et moins résistants que les thermodurcissables ;
- les thermoplastiques sont plus ductiles que les thermodurcissables (résistent mieux à la fissuration) ;
- les déchets thermoplastiques sont recyclables, les déchets thermodurcissables ne le sont pas.



CÉRAMIQUES

Des grottes du néolithique à la navette spatiale, en passant par la Grèce antique dont elles tirent leur nom (Keramos = "terre à potier"), les céramiques sont au cœur de l'histoire technique de l'humanité.

Prothèses dentaires, moteurs, outils de coupe, hauts-fourneaux, composants électroniques, tuiles, briques, filtres, buses d'arrosage, assiettes ou plats ; **les céramiques sont omniprésentes dans notre vie quotidienne** comme dans la plupart des secteurs d'activité.

Les céramiques se distinguent de tous les autres matériaux par leurs qualités particulières : **résistance à la chaleur (matériaux réfractaires)**, dureté et résistance à l'usure, propriétés isolantes, magnétiques et piézo-électriques.

1 ÉLABORATION D'UNE CÉRAMIQUE

Pour élaborer une céramique, on commence par une phase de **mise en forme de la matière première** à l'état de poudre, à température ambiante. Très souvent, cette étape de mise en forme est réalisée en **mélangeant la poudre à un liquide** (mélange appelé *barbotine*) ou en utilisant toutes sortes d'additifs afin de favoriser l'homogénéité du matériau, mais aussi d'influer sur les caractéristiques du résultat final.

Ensuite, la **cuisson** se fait à une température bien inférieure à la température de fusion du matériau. La matière première (traditionnellement, une terre argileuse) subit une transformation irréversible et acquiert des propriétés nouvelles.

Parmi les céramiques dites traditionnelles, les céramiques à base de silicate d'alumine sont les plus connues. Produites essentiellement à partir **d'argiles** ou de **kaolin** (la matière principale constituant l'argile), ce sont les *terres cuites*, les *poteries*, les *faïences*, les *grès* et les *porcelaines*.

Si on compare les céramiques aux verres, les deux types de matériaux peuvent être obtenus à partir des mêmes matières premières. La différence est que, dans le cas du verre, on porte la matière première à son point de fusion, et, une fois obtenu l'état liquide, on la met en forme (dans un moule, ou par soufflage).



Façonnage d'une porcelaine
(Photo Pillivuyt_Mehun sur Yèvre)

2 LES CÉRAMIQUES TRADITIONNELLES

Les céramiques traditionnelles sont celles que l'on trouve dans notre environnement quotidien : *arts de la table, sanitaires*. Longtemps artisanales, les techniques traditionnelles se sont largement adaptées et améliorées.

Si à l'origine, l'argile constituait la matière première fondamentale, l'emploi de nouvelles matières premières naturelles ou synthétiques a favorisé l'essor des céramiques techniques.



Assiettes, vases, sanitaires, ... en porcelaine

3 LES CÉRAMIQUES TECHNIQUES

Aujourd'hui, les céramiques techniques ont peu de ressemblance avec leurs origines. Elles offrent des propriétés uniques et étonnantes, tant physiques que thermiques, optiques et électriques, qui ont ouvert un monde nouveau d'opportunités de développement dans tous types d'industries.

Bien que très différentes des céramiques traditionnelles, il s'agit bien de céramiques, car la matière première est une poudre minérale mise en forme pour produire l'objet, et le traitement thermique est nécessaire pour lui donner les caractéristiques recherchées.



Roulements à billes



Bougie
(isolation
électrique)



Tuiles en céramique, protection installée sous les navettes
(échauffement important lors de l'entrée dans l'atmosphère)



Systeme de freinage en céramique
(Plus dur, accepte plus de chaleur)



Filtere à particules en céramique (nid d'abeilles)

4 LES BIOCÉRAMIQUES

Les **biocéramiques** sont des atouts précieux pour la médecine. Leur neutralité chimique et leur composition, voisines de celles des tissus osseux, permettent aux céramiques de conserver leurs propriétés une fois implantées dans l'organisme (qui est un milieu très agressif), et ainsi d'éviter les rejets.

Leur résistance à la torsion et au frottement permettent d'obtenir des prothèses quasiment inusables.

Les premières **prothèses osseuses** de hanche en céramique étaient à base d'alumine (Al_2O_3). Ce matériau est actuellement concurrencé par la zircone (ZrO_2) qui présente une tolérance biologique similaire, mais de meilleures propriétés mécaniques, permettant d'envisager la mise au point d'éléments beaucoup plus petits demandant une grande fiabilité (prothèses du doigt, de l'épaule, du genou).



Prothèse dentaire en Zircone



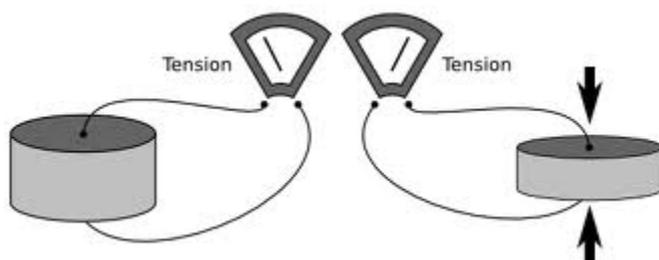
Prothèse de hanche



5 LES CÉRAMIQUES PIEZOÉLECTRIQUES

Les *matériaux piézoélectriques* sont très nombreux. Le plus connu est sans doute le *quartz*, toujours utilisé aujourd'hui dans les montres, pour créer des impulsions d'horloge. Mais ce sont des céramiques synthétiques, les PZT (Titanio-Zirconate de Plomb) qui sont le plus largement utilisées aujourd'hui dans l'industrie.

On retrouve des céramiques piézoélectriques dans les sonars, buzzers, téléphones, actionneurs divers, générateurs d'ultrasons etc...



Polarisation du composant (céramique PZT) sous l'action d'une action mécanique

D'après Le pôle européen de la céramique.
<http://www.cerameurop.com>

MATÉRIAUX MÉTALLIQUES

Préambule : Durant la phase de conception d'un système, le **choix des matériaux** à utiliser est une étape importante. Les **critères** orientant ce choix sont multiples : résistance, esthétique, coût, procédé de fabrication, poids, encombrement, ...

Il est impératif d'y associer également des critères de « **développement durable** » tels que la prise en compte des ressources, les impacts écologiques qui en découlent, le recyclage, ...

Utilisé depuis des millénaires (âge du fer, environ -1000 av J.C.), l'acier est toujours un matériau omniprésent dans de multiples domaines. Depuis l'extraction du minerai jusqu'à l'élaboration de nouveaux alliages, en passant par le secteur du recyclage, la métallurgie est un domaine très vaste. Près de 400000 personnes y travaillent en France.

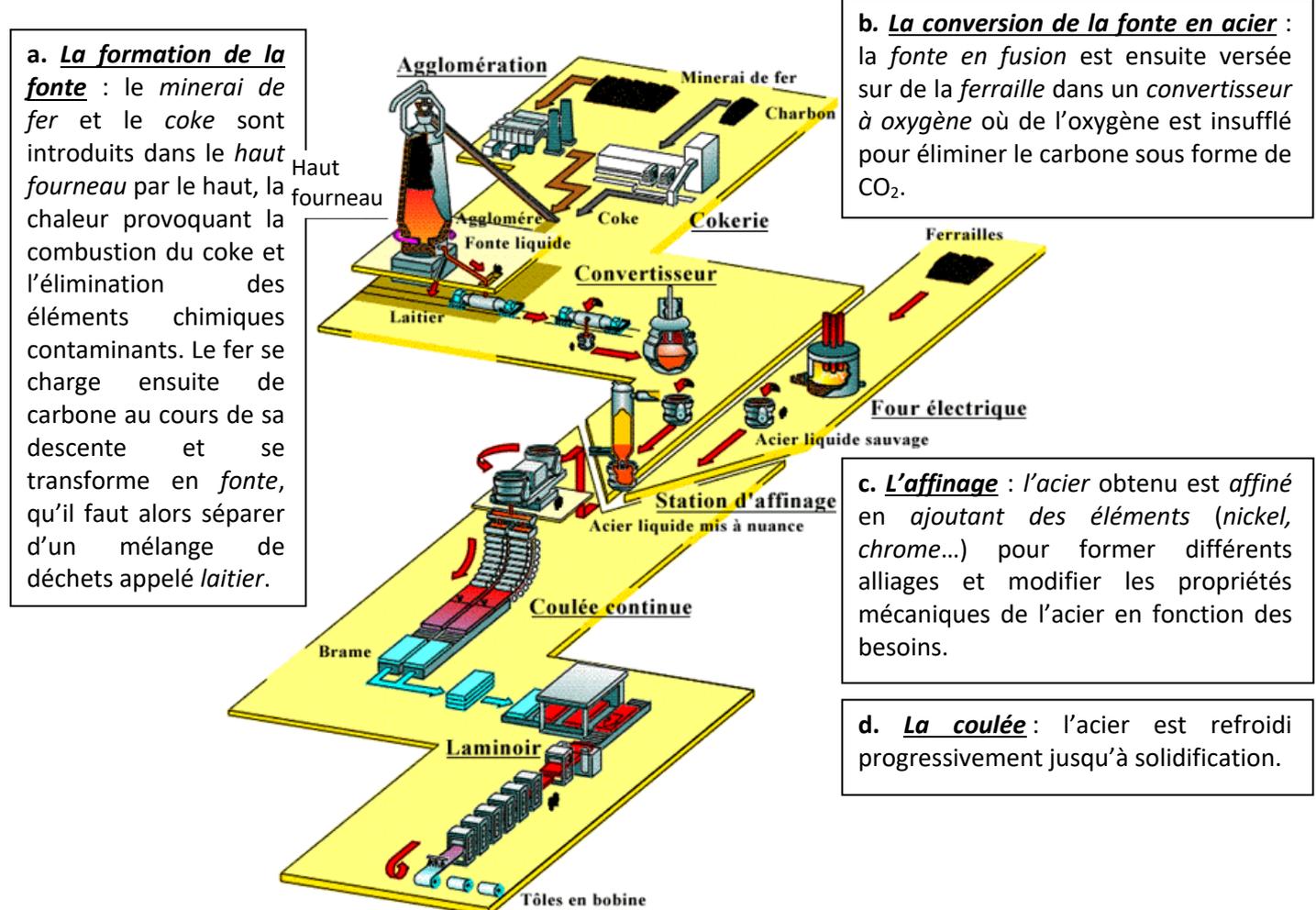
Le *fer*, la *fonte* et l'*acier* sont souvent confondus ; il est donc important de d'abord les définir :

Le fer est un élément chimique entrant dans la composition des deux autres.

La fonte et l'acier sont fabriqués essentiellement à partir du minerai de fer mais contiennent également d'autres composants. Ils sont différenciés par leur teneur en carbone : la fonte en contient de 2,1 à 6,7% et l'acier de 0,03% à 2%.

1 LE PRINCIPE DE FABRICATION DE L'ACIER

Pour fabriquer de l'**acier**, il faut du *minerai de fer*, du *charbon*, de la *chaux* et des *ferro-alliages* : molybdène, chrome, manganèse, silicium, titane, nickel, ... Ces derniers confèrent à l'acier des caractéristiques particulières adaptées à ses divers usages : architecture, ameublement, bons nombres de pièces de voitures (carrosserie, piston, boîte de vitesses, jantes...), armement (blindage)....



a. La formation de la fonte : le minerai de fer et le coke sont introduits dans le haut fourneau par le haut, la chaleur provoquant la combustion du coke et l'élimination des éléments chimiques contaminants. Le fer se charge ensuite de carbone au cours de sa descente et se transforme en fonte, qu'il faut alors séparer d'un mélange de déchets appelé laitier.

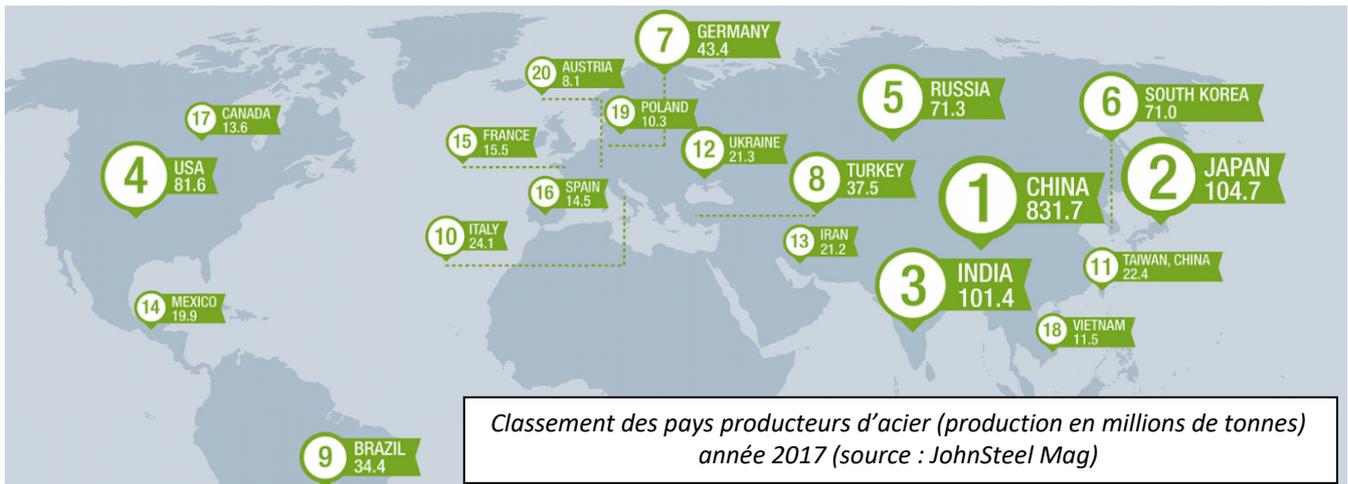
b. La conversion de la fonte en acier : la fonte en fusion est ensuite versée sur de la ferraille dans un convertisseur à oxygène où de l'oxygène est insufflé pour éliminer le carbone sous forme de CO₂.

c. L'affinage : l'acier obtenu est affiné en ajoutant des éléments (nickel, chrome...) pour former différents alliages et modifier les propriétés mécaniques de l'acier en fonction des besoins.

d. La coulée : l'acier est refroidi progressivement jusqu'à solidification.

e. Le laminage : l'acier est à nouveau monté en température pour le rendre malléable. Il est ensuite laminé. On obtient des tôles d'épaisseurs variables. L'acier peut-être également forgé, matricé, filé...

2 LES RESSOURCES



L'acier est un matériau 100 % recyclable, sans altération de qualité. Il peut donc être indéfiniment recyclé sans que ses propriétés de départ ne soient modifiées.

Actuellement l'acier recyclé représente environ 40 % des ressources en fer utilisées dans l'ensemble des procédures sidérurgiques.

Au rythme d'exploitation actuel, on estime à 80 petites années les réserves mondiales de fer.

3 CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX MÉTALLIQUES

La liste suivante concernant la classification des matériaux métalliques est loin d'être exhaustive. Elle donne une première approche permettant d'appréhender ces matériaux universellement utilisés. Attention, il existe plusieurs normes pour définir tous ces matériaux.

3.1 Aciers de construction générale

Il s'agit des aciers (non alliés) à bas prix. Ils ont une basse teneur en carbone afin de favoriser leur soudabilité. Ils sont destinés à la construction soudée, à l'usinage, au pliage...

LETTRE (suivant le type d'utilisation envisagé) + **VALEUR NUMÉRIQUE** (définit la limite élastique du matériau, Re en MPa)

S 235	Acier d'usage général Limite élastique : Re = 235 MPa	E 295	acier de construction mécanique Limite élastique : Re = 295 MPa
-------	--	-------	--

3.2 Aciers non alliés (pour traitements thermiques) (permet de modifier les capacités mécaniques du matériau)

Ce sont des aciers au carbone prenant la trempe, donc à teneur en carbone supérieure à 0,3 %. Mais la trempabilité est assez médiocre, il faut donc une vitesse de refroidissement rapide. Les pièces massives ne prennent pas la trempe à cœur, on n'a qu'une trempe superficielle.

On peut utiliser des aciers avec des teneurs en carbone plus basses, par exemple 0,2 %, à condition d'enrichir la surface en carbone (cémentation).

LETTRE (C) + VALEUR NUMÉRIQUE (2 chiffres représentant le % de carbone x 100)

C 38	0,38 % de carbone (trempe)	C 10	0,1 % de carbone (cémentation)
C 42 TS	0,42 % de carbone (trempe superficielle)	C 18	0,18 % de carbone (carbonituration)

3.3 Aciers faiblement alliés (pour traitements thermiques)

Ce sont des aciers dont aucun élément d'alliage n'a de teneur supérieure à 5 %. L'addition de nickel, chrome et molybdène permet une trempe à cœur de pièces massives ; ou bien une trempe ne nécessitant pas de refroidissement trop rapide, comme une trempe à l'air. Ce sont des aciers à haute limite élastique : acier à outil, à roulement, à ressort.

VALEUR NUMÉRIQUE (représente le % de carbone x 100) + **SYMBOLES CHIMIQUES** (symboles chimiques des éléments d'addition placés par ordre décroissant de leur teneur) + **VALEUR NUMÉRIQUE** (indique la teneur en % des éléments d'addition. Cette teneur est multipliée par un coefficient donné)

35 Cr Mo 4	0,35 % de carbone avec 1 % (4 / 4) de Chrome + du Molybdène (trempe à cœur)	45 Si Cr Mo 6	0,45 % de carbone avec 1,5 % de silicium + du Chrome + du molybdène (acier à ressorts)
16 Ni Cr 6	0,16 % de carbone avec 1,5 % (6 / 4) de nickel + du Chrome (cémentation)	100 Cr 6	1 % de carbone avec 1,5 % de Chrome (acier à roulements)

3.4 Aciers fortement alliés / aciers inoxydables (« inox »)

Les aciers inoxydables, ou « inox », sont des aciers à haute teneur en chrome (supérieure à 10 %). Le chrome s'oxyde (Cr_2O_3) et forme une couche passive, protectrice.

On utilise également dans certains cas des aciers fortement alliés pour trempe : aciers au manganèse HADFIELD (ou *mangalloys*), X 120 Mn 12, que l'on rend austénitique par hypertrempe. Lors de chocs, il devient martensitique (l'austénite se transforme à l'écroutissage) ce qui donne une couche extérieure très dure et un cœur qui reste très ductile et tenace, donc résistant à la propagation de fissure. Cette transformation à l'écroutissage le rend difficilement usinable, il est donc en général utilisé moulé.

Mais la plupart des aciers fortement alliés pour trempe sont ce que l'on appelle des aciers rapides spéciaux (ARS). Ce sont des aciers pour des outils à forte vitesse de coupe (perçage, fraisage, tournage).

LETTRÉ (X) + VALEUR NUMÉRIQUE (représente le % de carbone x 100) + **SYMBOLES CHIMIQUES** (symboles chimiques des éléments d'addition placés par ordre décroissant de leur teneur) + **VALEUR NUMÉRIQUE** (indique la teneur en % des éléments d'addition)

X 6 Cr Ni 18-09	0,06 % de carbone avec 18 % de Chrome + 9 % de Nickel (acier inox)	X 8 Cr 17	0,08 % de carbone avec 17 % de Chrome (acier inox)
X 200 Cr 13	2 % de carbone avec 13 % de Chrome		



Casseroles et couverts inox



Robinet à boisseau sphérique INOX

3.5 Les alliages légers

Ce sont des alliages ayant pour métal de base **l'aluminium**.

La densité de l'aluminium est de 2,7 par rapport à **l'acier qui a une densité de 7,8** ; d'où l'appellation « alliage léger ».

Par analogie, on surnomme les alliages de magnésium : « alliages ultra légers ».

La norme fait la distinction entre alliages moulés (NF EN 1706) et alliages corroyés (NF EN 573) (alliage corroyé : alliage ayant déjà subi une déformation par laminage, matriçage ou forgeage).

Suivant les pays, la norme d'écriture n'est pas la même ! on peut donc avoir un alliage d'aluminium qui peut s'écrire : EN A C-4 2 200, ou bien AlSi7Mg0,6 ou encore A-S7G06.

Donc si vous souhaitez par exemple acheter un vélo avec un cadre en aluminium (Aluminium 6061 ou AW-Al Mg1 Si Cu), il faudra prendre le temps de consulter les nombreux catalogues (internet...) qui donne la composition et les caractéristiques mécaniques exactes de l'alliage concerné.



3.6 Les autres matériaux métalliques

Les **alliages de cuivre** (laiton, bronze...), **alliages de titane**, les **fontes**, etc. ; tous ces matériaux possèdent leurs normes d'écriture ainsi que leurs propres caractéristiques physiques.

Il faut également prendre en compte les **traitements thermiques** que l'on peut effectuer sur certains matériaux afin d'optimiser leurs caractéristiques mécaniques (dureté, résistance...).

MATÉRIAUX COMPOSITES

(http://www.si.ens-cachan.fr/accueil_V2.php?page=affiche_ressource&id=166)

Un **matériau composite** est un **assemblage hétérogène** d'au moins **deux matériaux non miscibles** (mais ayant une forte capacité d'adhésion). Le nouveau matériau ainsi constitué « additionne » les propriétés des 2 matériaux.

Ce phénomène, qui permet d'améliorer la qualité de la matière face à une certaine utilisation (légèreté, rigidité à un effort, etc.), explique l'utilisation croissante des matériaux composites dans différents secteurs industriels. Néanmoins, la description détaillée des composites reste complexe du point de vue mécanique.

Un **matériau composite** est constitué d'une ossature appelée **renfort** qui assure la tenue mécanique et d'une protection appelée **matrice** qui est généralement une matière plastique (résine thermoplastique ou thermodurcissable) et qui assure la cohésion de la structure et la retransmission des efforts vers le renfort.

Exemple de fabrication d'un garde boue arrière de moto en fibres de carbone



Renfort : fibres de carbone



Matrice : résine Epoxy badigeonnée au pinceau

Plusieurs couches de renfort et de matrice sont ainsi appliquées

Après un temps de séchage et une opération de démoulage, la pièce brute (garde boue arrière moto) est ainsi obtenue



Pièce finie après ponçage et vernissage



Il existe aujourd'hui un grand nombre de matériaux composites que l'on classe généralement en trois familles en fonction de la nature de la matrice :

- les **composites à matrices organiques (CMO)** qui constituent les volumes les plus importants aujourd'hui à l'échelle industrielle ;
- les **composites à matrices céramiques (CMC)** réservés aux applications de très haute technicité et travaillant à haute température comme le spatial, le nucléaire et le militaire, ainsi que le freinage (freins céramique) ;
- les **composites à matrices métalliques (CMM)** qui tentent de concilier les qualités des métaux avec la légèreté et les caractéristiques mécaniques des structures composites.

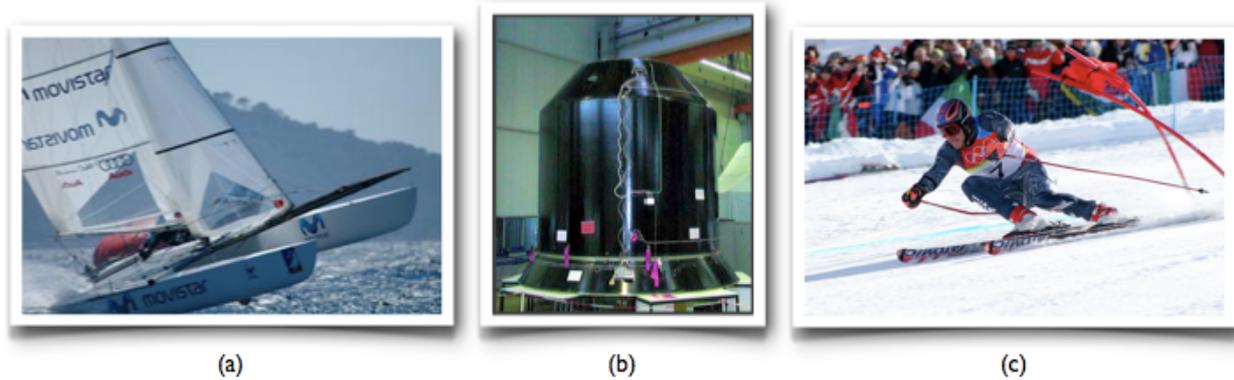
1 LES COMPOSITES À MATRICES ORGANIQUES (CMO)

Il s'agit, de loin, des composites les plus répandus : ce sont en effet les seuls composites ayant, pour beaucoup d'entre eux, des coûts unitaires suffisamment réduits pour pouvoir être produits en grandes séries.

Plus précisément, on distingue généralement des composites à grande diffusion (peu coûteux et représentant près de 95% des CMO fabriqués, utilisés pour toutes sortes de pièces faiblement sollicitées) et des composites à haute performance (plus onéreux mais présentant des qualités mécaniques supérieures), notamment employés dans l'aéronautique, le nautisme, les sports et loisirs ou encore la construction industrielle (Figures 1).



(d)

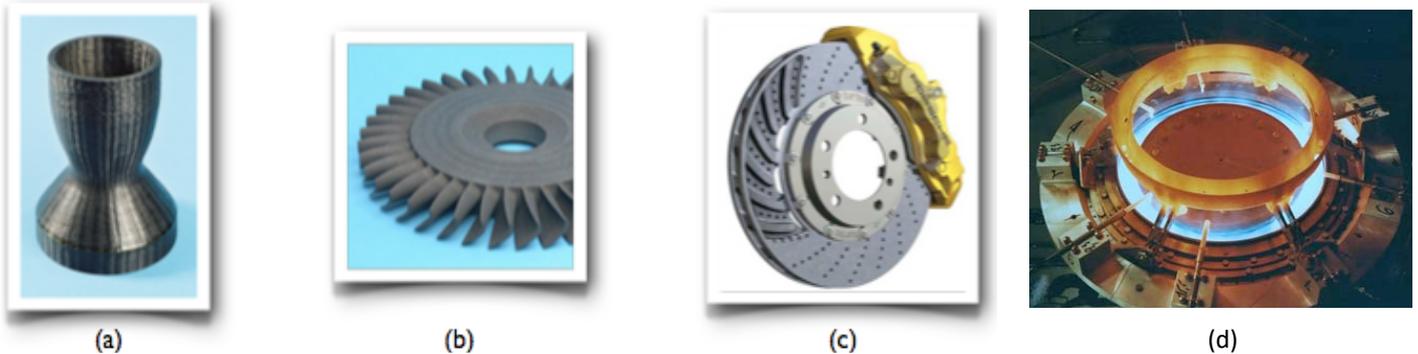


Figures 1 : Quelques applications des CMO "haute performance" : (a) un catamaran, (b) le support de la charge utile d'Ariane 5 (image d' Aerospace Technology), (c) des skis de compétition (image de Thomas Grollier), (d) perche en fibre de carbone

Les renforts peuvent être à base de **fibres de verre**, **fibres de carbone**, **fibres d'aramide (Kevlar)** ou encore de **fibres végétales** (chanvre, lin).

2 LES COMPOSITES À MATRICES CÉRAMIQUES (CMC)

Beaucoup moins répandus que leurs homologues à matrice organique en raison d'un coût élevé, les CMC s'adressent aux applications à très hautes températures. Ils sont principalement utilisés dans l'industrie spatiale et l'aéronautique militaire, ainsi que pour la conception d'organes haut de gamme comme des disques ou plaquettes de freins (Figures 2).



Figures 2 : Quelques applications des CMC : (a) la tuyère d'un moteur spatial. (b) le disque à aubes d'une turbine. (c) un disque de frein haut de gamme (image Porsche). (d) tuyère moteur avion.

Les céramiques possèdent de nombreux atouts pour de telles applications : elles peuvent **résister à des températures très élevées**, **sont plus légères que de nombreux métaux**, et présentent une **bonne stabilité chimique**. Malheureusement, leur grande fragilité limite fortement leur domaine d'utilisation. Le principe des CMC est donc de rendre les céramiques moins cassantes en leur donnant une structure composite.

3 LES COMPOSITES À MATRICES MÉTALLIQUES (CMM)

Les composites à matrices métalliques ont été élaborés pour tenter de concilier les qualités des métaux (ductilité, bonne tenue face au vieillissement et au feu...) avec la légèreté et les bonnes caractéristiques mécaniques propres aux structures composites. Ce sont des matériaux performants, mais pénalisés par un coût de revient encore élevé et réservés à des applications relativement exigeantes, dans divers domaines (Figure ci-contre).

Un avantage de ces composites est que la matrice étant métallique, ses caractéristiques mécaniques intrinsèques sont généralement bonnes. Il est donc possible de ne renforcer que certaines zones.

Cela est généralement impossible avec les matrices polymères (en raison de leur faible résistance) ou céramiques (en raison de leur fragilité).

Un inconvénient est la grande réactivité chimique des métaux : lors de la mise au point du composite, il faut s'assurer que la matrice et le renfort ne peuvent pas réagir entre eux, faute de quoi les conséquences sur les propriétés mécaniques peuvent être catastrophiques.

