**Chapitre I :** Généralités sur les matériaux

**I.1.Introduction :**

Le terme « matériau » désigne la substance dont sont faits les objets manufacturés. Il est plus restreint que le terme « matière », qui désigne les liquides, les gaz et les solides en général. La science des matériaux étudie la matière qui constitue les objets : métaux, polymères, céramiques, …

La science des matériaux est par essence pluridisciplinaire : physique, chimie, physico-chimie, mécanique, … Elle est au cœur de beaucoup des grandes révolutions techniques : en génie mécanique, électronique, …

**I.2. Classification des matériaux :**

Les principales familles de matériaux : les polymères, les céramiques, les métaux et alliages, et les composites.

**I.2.1.les matériaux métalliques :**

Ce sont des métaux ou des alliages (mélange) de métaux. (Fer, acier, aluminium, cuivre, bronze, fonte, etc.). On peut distinguer deux sous-groupes qui sont :

**I.2.1.1 Les matériaux ferreux** : Ce sont des alliages à base de fer (aciers et fontes) ; ils jouent un rôle capital sur le plan technologique. Ils ont un fort module d’élasticité E et une forte limite d’élasticité 𝜎𝑒, parmi eux on trouve :

- ***les aciers d’usage général***, (S355, E335). En fonction de leurs utilisations, ces aciers sont produits sous la forme de profilés (produits longs : les poutrelles, les profilés de sections diverses, les fers marchands, les tubes, les fils, les câbles et les rails.) ou sous la forme de tôles (produits plats : comprennent les tôles fortes, les plaques (épaisseurs supérieure à 5 mm), les tôles minces pour l’emboutissage).

***- les aciers de traitement thermique,*** (C 32, 20 Ni Cr 6, 35 Ni Cr Mo 16), ce sont des aciers au carbone, destinés à subir des traitements thermiques pour aboutir à des caractéristiques bien déterminées selon leurs utilisations.

- ***les aciers à outils***, (35 Cr Mo 4, 100 Cr 6), ce sont en général des aciers fortement alliés de chrome (entre 5 et 12 %) pour éviter la corrosion. Ils doivent posséder la dureté la plus élevée possible, une très bonne résistance à l'usure et une grande ténacité.

- ***les aciers inoxydables***, (X 45 Cr 13, X 9Cr Ni 12-12) Les aciers inoxydables comprennent un ensemble de familles d'alliages à base de fer dont la principale propriété est la résistance à la corrosion généralisée, ils sont utilisés en visserie, pour les ressorts, pour les arbres de pompes, la coutellerie, les soupapes ...

**- *les fontes***. (EN-GJL 150, EN-GJS 400-18) ce sont des alliages fer-carbone de très forte teneur en carbone (> 2 %), ce qui les rend fragiles et interdit toute déformation plastique. On les utilise donc principalement en fonderie.(bâtis, la petite quincaillerie, les raccords de plomberie, la fabrication des carters de pompes, des vannes, des vilebrequins, des engrenages

**I.2.1.2 Les matériaux non ferreux** : Ils incluent tous les métaux et les alliages qui ne contiennent pas de fer, Parmi eux on trouve :

**- *l’aluminium et ses alliages :*** ce sont des alliages à base d’aluminium principalement utilisés en aéronautique, dans l’industrie alimentaire et cryogénique, pour les articles de sport et les structures utilisées en atmosphère marine.

- ***le cuivre et ses alliages* :** ce sont des alliages à base de cuivre : parmi eux on trouve les laitons utilisés en fonderie, le cupro-aluminium (construction navale), les cupro-nickels (construction navale), les bronzes (fonderie).

**- *le zinc et ses alliages* :** ce sont des alliages à base de zinc ayant une faible température de fusion (420°C), et sont largement utilisés dans l’automobile (carburateur, pompe à essences...),

• les **non oxydes** : carbures (carbone + autre élément

**I.2.3. les polymères :** Les polymères (matières plastiques) sont constitués d’un grand nombre d’unités fondamentales, appelées monomères. Ce sont des molécules organiques dont le noyau est essentiellement constitué d’un atome de carbone (ou de silicium dans le cas des polymères siliconés). quincaillerie et en mécanique de précision (appareils photographiques, horlogerie...).

- ***le titane et ses alliages* :** Ce sont des alliages à base de titane, utilisés dans le domaine aéronautique et médical

**I.2.2. les céramiques et les verres :**

La définition d’une céramique est très vaste, car elle concerne les matériaux solides non métalliques et inorganiques. Le chlorure de sodium et le diamant sont ainsi des céramiques, tout comme la terre cuite ou la porcelaine (sens premier de céramique) il sera sous-entendu que nous parlerons des céramiques industrielles, nommées aussi céramiques techniques. Elles possèdent souvent une **structure cristalline**, mais ce n’est pas obligatoire : **le verre ainsi est une catégorie de céramique**. On distingue deux ensembles :  
• les **oxydes** : https://e.educlever.com/img/4/2/3/3/423306.gif, https://e.educlever.com/img/4/2/3/3/423308.gif, https://e.educlever.com/img/4/2/3/3/423310.gif, …

**I.2.4. les matériaux naturels :**

#### Ce sont des matériaux issue de la **nature** et qui n’a reçu aucune ou très peu de modifications de l’homme. Il existe 3 types de matériaux naturels :

* Les minéraux
* Les organiques d’origine végétale
* Les organiques d’origine animale

**I.2.5. les matériaux composites :**

Ce sont des assemblages d'au moins deux matériaux non miscibles. Un matériau composite est constitué de trois éléments principaux :

**a-** une matrice, généralement une résine thermoplastique (polyamide, PEEK, PEI) ou thermodurcissable (vinylester, polyester, époxyde), qui va servir de liant et va permettre de répartir les contraintes.

**b-** de fibres minérales ou organiques qui confèrent au matériau l’essentiel de ses propriétés mécaniques. Ces fibres sont coupées (quelques millimètres à quelques décimètres) ou continues et peuvent être de nature minérale (verre, basalte), synthétique organique (carbone, aramide) ou biosourcée (lin, chanvre).

**c-** d’additifs afin de modifier certaines caractéristiques du matériau (coloration, surface, propriétés rhéologiques, etc.)

Les composites trouvent leur application dans tous les domaines tels que : l’aéronautique, l’automobile, bâtiment et travaux public, industrie et sport et loisirs.

**I.3 Les caractéristiques des matériaux :**

Un matériau possède plusieurs caractéristiques qui lui sont propres. Ces caractéristiques sont prises en compte lors de la fabrication d’un objet technique et de son utilisation. Les matériaux peuvent avoir des caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques diverses :

**I.3.1 Caractéristiques physiques :**

Elles se rapportent à :

**a) Masse volumique :** est une grandeur physique qui caractérise la masse d’un matériau pour une unité de volume donnée (le litre ou le mètre cube), elle s'exprime en **g par litre** ou **g par mètre cube**.. Exemple : Aluminium =2 ,7𝑔⁄ l

**b Point de fusion :** C’est la température à laquelle le métal chauffé passe de l’état solide à l’état liquide ; exemples 𝑇𝑓 𝑎𝑐𝑖𝑒𝑟=1300 à 1500°𝐶;; 𝑇𝑓 𝐴𝑙𝑢𝑚𝑖𝑛𝑖𝑢𝑚=650°𝐶

**d) Conductivité électrique : La conductivité électrique** d’un matériau permet de déterminer si le matériau laisse passer ou non le courant électrique. exemple le cuivre est un matériau bon conducteur, le plastique est un matériau mauvais conducteur (isolant)

**c) Conductivité thermique :** C’est l’aptitude d’un matériau à véhiculer un flux thermique, c’est-à-dire un flux de chaleur, exemple l’Aluminium et le Cuivre possèdent une conductivité thermique élevée.

**d) Propriété magnétique :(ferromagnétisme) :** C’est l’aptitude d’un matériau à la production d’un champ magnétique, c’est une caractéristique très importante en construction électrique de bobine, moteur, appareils téléphoniques, etc….

**e) Propriété acoustique :** C’est l’aptitude d’un matériau à transmettre plus ou moins facilement les ondes sonores exemple :la fibre optique possède des propriétés acoustiques élevée.

**I.3.2 Caractéristiques mécaniques :**

Elles définissent le comportement du matériau pendant l’utilisation, c’est-à-dire elles permettent à l’utilisateur de connaitre si ce matériau va résister ou non aux efforts auxquels il serait soumis.

**a) Elasticité :** L’élasticité d’un matériau est la capacité d’un matériau à être déformable et à reprendre sa forme d’origine après avoir subi une déformation.

**b) Ténacité :** C’est la résistance aux efforts de traction, de compression, et de cisaillement c’est-à-dire la propriété de s’opposer à l’action destructive des sollicitations extérieures.

**c) Dureté :** C’est la capacité d’un matériau à résister à la pénétration par un autre matériau.

**d) Résilience :** C’est l’aptitude d’un matériau à résister au choc.

**e) Fragilité :** C’est la facilité de rupture (cassure) sous l’action de choc, un corps fragile n’est pas résilient (verre).

**I.3.3 Caractéristiques chimiques :**

Elles définissent le comportement d’un matériau dans une ambiance ou il y a des agents chimiques en contact (gaz, acide, air, etc…), c’est-à-dire est-ce-que le matériau va résister ou non à la corrosion par l’oxygène et les agents chimiques.

**I.3.4 Caractéristiques technologiques :**

Elles expriment l’aptitude d’un matériau à subir les différents procédés de fabrication.

**a) Malléabilité :** C’est la possibilité de se donner et de se soumettre à la déformation plastique d’un matériau à chaud ou à froid sans se détruire par choc ou par pression.

**b) Ductilité :** (super malléabilité) c’est l’aptitude d’un matériau à être étiré en fil de faible section.

**c) Fusibilité :** C’est l’aptitude à passer de l’état solide à l’état liquide.

**d) Fluidité :** C’est l’aptitude à l’écoulement progressif, un matériau fusible et fluide possède une bonne coulabilité.

**e) Soudabilité :** C’est l’aptitude d’un matériau à former une liaison intime avec un autre matériau par fusion.

**f) Usinabilité :** C’est l’aptitude d’un matériau au façonnage par enlèvement de copeaux par outil de coupe.

**I.4 Notions de cristallographie :** La cristallographie est la [science](https://fr.wikipedia.org/wiki/Science) qui se consacre à l'étude des [cristaux](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cristal) à l'échelle atomique. Les propriétés physico-chimiques d'un cristal sont étroitement liées à l'arrangement spatial des [atomes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atome) dans la matière. L'état cristallin est défini par un caractère périodique et ordonné à l'échelle atomique ou moléculaire. Le cristal est obtenu par [translation](https://fr.wikipedia.org/wiki/Translation_(g%C3%A9om%C3%A9trie)) dans toutes les directions d'une unité de base appelée [maille élémentaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/Maille_(cristallographie)).

**I.4.1 un corps cristallin :**

Un corps cristallin est un corps solide qui a une structure réticulaire : les atomes se disposent suivant une configuration à trois dimensions dans laquelle on peut identifier des rangées orientées dans diverses directions sur lesquelles les atomes sont régulièrement

****

|  |
| --- |
| **Figure I.1 : Structure réticulaires** |
|  |
|  |

**I.4.2 Un corps amorphe :**

Un solide amorphe est un liquide qui ne coule pas : sa structure atomique est désordonnée comme un liquide mais il est figé et garde sa forme comme un solide. Parmi les matériaux amorphes on peut citer le verre de silice et une multitude d’autres matériaux d’origines extrêmement diverses, comme les verres « mous » : émulsions concentrées, mousses, verres colloïdaux... On les rencontre souvent sur notre table de cuisine, tels la mayonnaise, la mousse au chocolat, ou dans notre salle de bain sous forme de gels et crèmes de beauté diverses. Ces verres « mous » sont capables effectivement de couler si on les force

-Ces matériaux peuvent être obtenus par refroidissement très rapide depuis l'état fondu de l'alliage, ou par d'autres méthodes



**Figure I.2 : structure amorphe**

**I.4.3.Structure ristalline :**

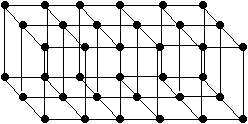
Une structure cristalline est constituée de copies identiques de la même unité physique, appelée motif ou base, située sur tous les nœuds d’un réseau de Bravais.

**I.4.3.a Réseau à motif**

Il fait référence à une structure périodique même quand l’unité de base n’est pas un objet physique mais un autre ensemble de points.

**I.4.3.b.Le réseau cristallin**

Activité qui a pour but de construire un modèle de qui représente la structure de la matière minéral cristalline, constituée d'atomes arrangés de manière régulière dans l'espace.



Les sommets de ces parallélépipèdes sont appelés les ***noeuds*** du réseau,

1. Les droites passant par ces noeuds sont appelés : ***rangées*,**
2. Le groupement de tous les noeuds en famille de plans parallèles équidistants est appelé ***plans réticulaires***,
3. La distance entre deux plans voisins de la même famille est dite ***distance interréticulaire,***
4. Le plus petit parallélépipède est appelé ***maille*** du réseau.

La position, le lieu, de chaque particule est un noeud. (s'appelle un noeud)

On va obtenir une ligne de nœuds:

http://www.edu.xunta.es/ftpserver/portal/S_EUROPEAS/XEOL/Le_reseau_archivos/image003.gif

On doit construire plusieurs lignes de noeuds, au moins quatre lignes de noeuds.

2 Puis on va les placer parallèlement: une ligne de noeuds parallèle à une autre ligne de noeuds. Parallèles les unes aux autres.

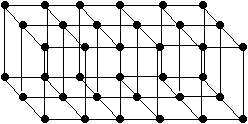
Après on va les relier par des bagettes.

De (telle) sorte qu'on obtient un plan de noeuds:

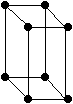
http://www.edu.xunta.es/ftpserver/portal/S_EUROPEAS/XEOL/Le_reseau_archivos/image006.gif

On doit construire, au moins, deux plans de nœuds

3 Pour finir, on doit superposer les différents plans que nous avons construit, il faut superposer les plans... et on obtient le réseau cristallin :



Nous pouvons identifier, différencier, isoler une partie du réseau cristallin, qui va définir tout le réseau, c'est la maille élémentaire :



La maille élémentaire est la partie la plus petite conservant les caractéristiques du cristal (une forme polyédrique limitée par des faces planes)

Il y a sept différentes mailles élémentaires qui vont définir les différents réseaux cristallins. et en conséquence les formes des cristaux.

**I.5. Les systèmes cristallin :**

**-.Le système cubique (ou isométrique)**

|  |  |
| --- | --- |
| http://thepoussin.free.fr/TPE2003/Res/sys-res_cubique.gif | *a* = *b* = *c* : les trois axes sont de même longueur a = b = g = 90° : les trois angles sont égaux et droits Symétries : C, 3 L4, 4 L3, 6 L2, 9 P L'élément de base est un cube |

**-.Le système quadratique (ou tétragonal)**

|  |  |
| --- | --- |
| http://thepoussin.free.fr/TPE2003/Res/sys-res_quadratique.gif | *a* = *b* ¹ *c* : deux axes sont de même longueur a = b = g = 90° : les trois angles sont égaux et droits Symétries : C, L4, 4 L2, 5 P L'élément de base est un prisme droit à base carrée |

**-Le système orthorhombique**

|  |  |
| --- | --- |
| http://thepoussin.free.fr/TPE2003/Res/sys-res_orthorhombique.gif | *a* ¹ *b* ¹ *c* : les trois axes sont de longueur inégale a = b = g = 90° : les trois angles sont égaux et droits Symétries : C, 3 L2, 3 P L'élément de base est un parallélépipède rectangle |

**-.Le système monoclinique**

|  |  |
| --- | --- |
| http://thepoussin.free.fr/TPE2003/Res/sys-res_monoclinique.gif | *a* ¹ *b* ¹ *c* : les trois axes sont de longueur inégale b = g = 90° ¹ a : deux angles sont égaux et droits Symétries : C, L2, P L'élément de base est un prisme oblique à base losange |

**-.Le système triclinique**

|  |  |
| --- | --- |
| http://thepoussin.free.fr/TPE2003/Res/sys-res_triclinique.gif | *a* ¹ *b* ¹ *c* : les trois axes sont de longueur inégale a ¹ b ¹ g ¹ 90° : les trois angles sont différents et non droits Symétries : C, L2, P L'élément de base est un parallélépipède à base losange |

**-Le système rhomboédrique**

|  |  |
| --- | --- |
| http://thepoussin.free.fr/TPE2003/Res/sys-res_rhomboedrique.gif | *a* = *b* = *c* : les trois axes sont de même longueur a = b = g ¹ 90° : les trois angles sont égaux et non droits Symétries : C, L3, 3 L2, P L'élément de base est un parallélépipède dont toutes les faces sont des losanges |

**-Le système hexagonal**

|  |  |
| --- | --- |
| http://thepoussin.free.fr/TPE2003/Res/sys-res_hexagonal.gif | *a* = *b* ¹ *c* : deux axes sont de même longueur a = b = 90° et g = 120° : deux angles sont égaux et droits, le troisième vaut 120° Symétries : C, L6, 6 L2, 7 P L'élément de base est un prisme droit à base hexagonale celui-ci est formé de trois sous-éléments identiques (des prismes droits de base losange), c'est de ces sous-éléments que |

**I.5.1. Les quatorze (14 )réseaux de Bravais**

Parfois, des particules supplémentaires, situées au centre de la maille ou au milieu des faces. Auguste Bravais distingua ainsi quatorze types de réseaux cristallins différents. La symétrie d'un cristal peut alors être inférieure à celle de sa maille primitive dans le cas où les groupes d'atomes situés aux sommets de la maille ne présentent pas la même symétrie que la maille.

Chaque système, ou réseau élémentaire, peut se décliner de quatre manières :

* primitive (notée P) : il y a une particule (ou motif) à chaque sommet
* centrée (notée I, de l'allemand *innenzentriert*) : il y a en plus une particule au centre de la maille
* à faces centrées (notée F) : il y a en plus une particule au centre de chaque face
* à deux faces centrées (notée A, B ou C suivant l'axe concerné) : il y a une particule au centre de deux faces opposées

La forme primitive du système rhomboédrique peut également être notée R.

Tous les systèmes possèdent une forme primitive P mais pas obligatoirement toutes les autres formes dérivées. Voici la liste des réseaux acceptés par chaque système :

* cubique : P, I et F (3 réseaux)
* quadratique : P, I (2 réseaux)
* orthorhombique : P, I, F, A (ou B ou C) (4 réseaux)
* monoclinique : P, A (si a ¹ 90°) (2 réseaux)
* triclinique : P (1 réseau)
* rhomboédrique : P (ou R) (1 réseau)
* hexagonal : P (1 réseau)

**I.5.2. Les structures cristallines : CC, CFC, HC :**

La plupart des métaux ont une structure hautement symétrique (cubique, hexagonale)

**I.5.2. a- Structure cubique centré (CC) :**

Dans cette structure un (01) atome occupe le centre du cube, et un atome pour chaque sommet du cube, les atomes de sommets de cube sont partagés par les cubes qui lui sont adjacents, ainsi chaque maille possède ***2 atomes*** : 1 atome du centre et un atome pour les atomes de sommets (8 x1 /8 =1). Matériaux : Li, Na, K, Ba, V, Nb, Mo, fe(α),



**I.5.2.b- Structure cubique à face centrée (CFC) :**

Dans cette structure un (01) atome occupe chaque sommet du cube, et un atome occupe chaque centre de face.

Le nombre d’atomes que contient cette structure est : ***4 atomes*** (8 x1/8 pour les atomes de sommets) et 6 x1/2 par face

Matériaux : Cu, Ag, Au, Ca, Al, Pb,



-**Exemples :**

-**Le cuivre** cristallise dans un réseau cubique à faces centrées



**-Le diamant**





Le réseau de Bravais est cubique à faces centrées. Le motif est formé de deux atomes :

1 atome C (0, 0,0)

1 atome C (𝟏/𝟒,𝟏/𝟒,𝟏/𝟒)

***I.5.2.c- Structure hexagonale compacte (HC) :***

Cette structure contient ***6 atomes*** : 3 atomes du centre, 2 x1/2 atomes du centre des faces et 12 x 1/6 atomes des sommets. ( :Be, Mg, Zn,…)

**Exemple :**

**Structure du magnésium :** 

Le réseau de Bravais est hexagonal primitif. Le motif est formé de deux atomes :

1 atome Mg (0,0,0)

1 atome Mg (𝟐/𝟑,𝟏/𝟑,𝟏/𝟐 )

Noeud du réseau hexagonal

**Remarque** :

-Dans une structure cristalline, la plus petite distance entre deux atomes (ou ions) est égale à la somme de leurs rayons.

-La condition de stabilité d’une structure consiste à trouver l’encadrement du rapport des rayons atomiques (ioniques) pour que le réseau de Bravais soit stable (Energie de cohésion minimale)

Dans le cas du **chlorure de sodium :** 𝑟𝑎𝑛𝑖𝑜𝑛/𝑟𝑐𝑎𝑡𝑖𝑜𝑛= 1,81/0,98=**1,85**

**I .5.3.Les défauts dans les structures**

Le cristal parfait n’existe pas réellement. Toute structure cristalline peut comporter des défauts dans l’assemblage régulier des atomes, parmi lesquels on peut citer :

**I.5.3.a Défauts ponctuels :** On désigne ainsi toute perturbation de la périodicité cristalline, dont le volume, petit, présente l’ordre de grandeur du volume atomique. Un atome étranger ou impureté, une lacune, un interstitiel et un agrégat (association de plusieurs défauts) sont des défauts ponctuels.

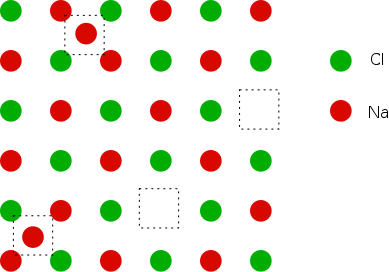
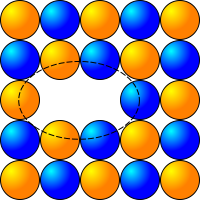
t

Figure I.3. les défauts ponctuels

**I.5.3.b.Dislocations :** En science des matériaux, une dislocation est un défaut linéaire correspondant à une discontinuité dans l'organisation de la structure cristalline. Une dislocation peut être vue simplement comme un "quantum" de déformation élémentaire au sein d'un cristal possédant un champ de contrainte à longue distance.

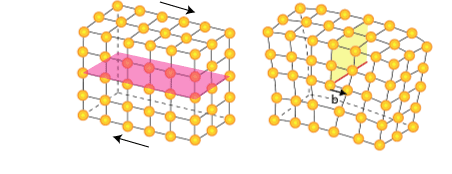


Figure I.4. Dislocation

**I.5.3.c.Les joints de grains**sont des éléments majeurs constitutifs des matériaux cristallins. Ils jouent un rôle important dans toutes les propriétés de ces matériaux, d’autant plus que la taille des grains (cristaux) diminue et/ou que des procédés d’élaboration et de transformation se développent permettant de jouer sur leur diversité et leur répartition dans les polycristaux.

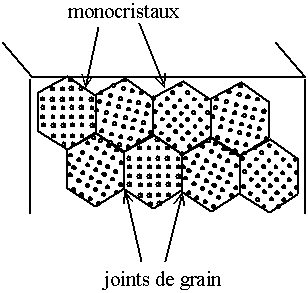


Figure I.5 les joints de grains