

# Cours 1

## Généralités sur les matériaux

### 1. MATERIAUX : ARCHITECTURE ET COMPORTEMENT.

#### 1.1. DEFINITION

La science des matériaux mis en relation le comportement d'un matériau par rapport à une sollicitation extérieure et notamment la réaction de ce matériau par rapport à cette sollicitation en tenant compte de sa structure interne.

On veut dire par sollicitations extérieures les cas suivants :

- Fabrication : mise en œuvre ou mise en forme : le chauffé pour le rendre liquide , post-traitement trempe, recuit, stockage (conditionnement) : stockage à une température donnée ou à une pression donnée...etc.
- En service : environnement, climat, contraintes (traction, flexion, flambage, fatigue, choc...etc.

#### 1.2. OUTILS DE CHOIX DE MATERIAUX

Un comportement mécanique d'un matériau doit décrit en fonction de ces propriétés, ces propriétés sont définies à partir de certains outils qu'elles soient microscopiques ou macroscopiques

##### 1.2.1. Échelle microscopique (structure interne)

- Liaison chimique
- Arrangement des atomes

##### 1.2.2. Échelle macroscopique /comportement

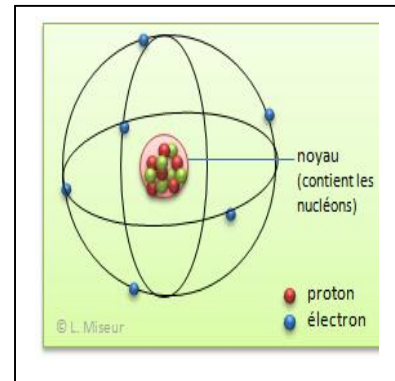
- Essais mécaniques (traction, flexion, compression cisaillement...
- Ténacité
- Ductilité
- Fragilité
- Caractéristiques chimiques

### 1.3. STRUCTURE DE LA MATIERE

#### 1.3.1. Modèle atomique (le modèle quantique)

Ce modèle s'appuie sur :

- Probabilité de trouver l'électron sur une orbite/ niveau d'énergie
- Couche complet stable



#### 1.3.2. Atome

L'atome est de l'ordre de nanomètre ( $10^{-9}$  m)

Le noyau est de l'ordre de fermi ( $10^{-15}$  m)

Le noyau est formé de protons et de neutron :

Masse proton = masse neutron =  $1.675 \cdot 10^{-27}$  Kg ( $m_p = m_n$ ) = 2000 masse de l'électron.

La charge neutron = 0 ; la charge proton =  $1.6 \cdot 10^{-19}$  c = la charge de l'électron.

#### En termes de nombre

- Le nombre de protons = nombre d'électrons (on dit que l'atome est électriquement neutre).
- Le nombre de protons est différent de nombre neutrons (isotope)  
Exp :  $C^{14}$  : 6 protons et 8 neutrons.  
 $C^{12}$  : 6 protons et 6 neutrons

#### 1.3.3. Définition

##### Le nombre atomique

**Z** : le nombre de protons.

**N** : nombre de neutrons.

La masse d'un atome  $M_a = Zm_p + Nm_n + Zm_e$

Le nombre de masse **A** = **Z** + **N**

##### Mole

Soit N : le nombre d'atome contenue dans 12 g de Carbon qu'est de  $6.022 \cdot 10^{23}$ .

Nous pouvons définir une mole d'une quantité comme étant le nombre d'avogadro ( $6.022 \cdot 10^{23}$ ) d'éléments qui constitue cette quantité

Une mole de cerise =  $6.022 \cdot 10^{23}$  cerises.

##### Masse molaire

C'est la masse d'une mole d'une quantité en (g/mol)

1 mol de C = 12g/mol

### 1.3.4. Différents composés au niveau de la matière

- Composés moléculaires

Une molécule est formée de plusieurs atomes :

- ✚ Les gaz rares sont des molécules monoatomiques (He, Ne, Ar), leurs atomes sont stabilisés au niveau de la dernière couche, par conséquent pas de possibilité de lier entre eux.
- ✚ Les autres atomes peuvent former des liaisons interatomiques appelées covalentes.
- ✚ Les macromolécules : elles peuvent être formées de plusieurs atomes : les plastiques.

- Composés non moléculaires

Sont principalement les métaux, qui sont caractérisés par des liaisons métalliques

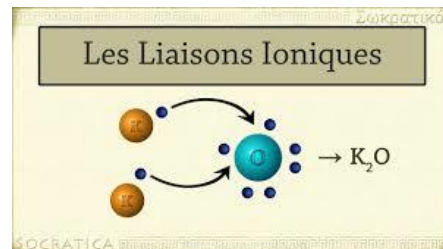
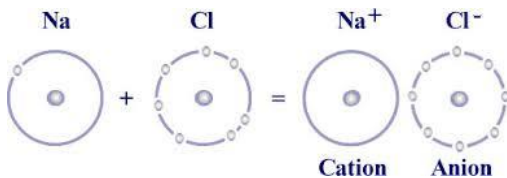
### 1.3.5. Liaisons atomiques

#### 1.3.5.1. Liaison à forte énergie > 50 kJ/mol

On trouve les liaisons suivantes, de la plus forte à la plus faible :

- Liaison ionique

Une liaison ionique est un type de liaison chimique qui peut être formée par une paire d'atomes possédant une grande différence d'électronégativité typiquement entre un non-métal et un métal. Le métal donne un ou plusieurs électrons pour former un ion chargé



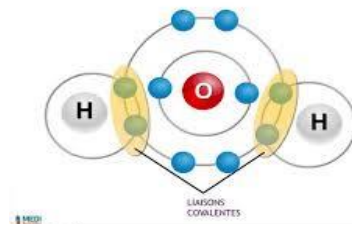
Les caractéristiques des matériaux ayant ce type de liaison sont :

- ✓ Forte énergie de liaison : 600 à 1500 kJ/mol, il faut énormément d'énergie (thermique, chimique ou mécanique) pour pouvoir détruire cette liaison).
- ✓ Très grande température de fusion
- ✓ Inertie électrique (l'électron mis en jeu n'est pas libre), thermique et chimique.
- ✓ Un comportement fragile

- Liaison covalente

Une **liaison covalente** est une **liaison** chimique dans laquelle deux atomes se partagent deux électrons (un électron chacun ou deux électrons venant du même atome) d'une de leurs couches externes afin de former doublet d'électrons liant les deux atomes.

LIAISON COVALENTE POLAIRE



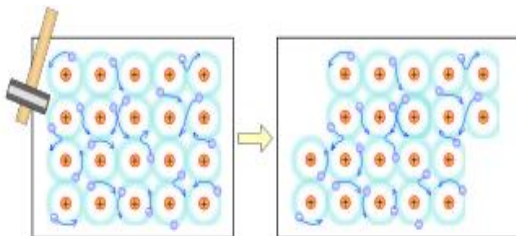
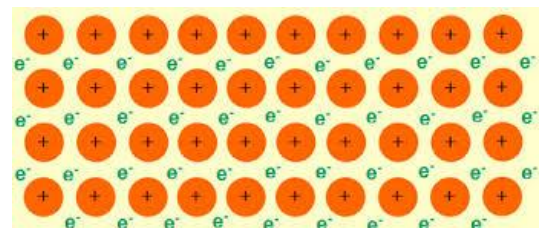
un

Les caractéristiques des matériaux qui ont ce type de liaisons sont :

- ✓ Énergie de liaison de 300-713 Kj/mol.
- ✓ Comportement fragile.
- ✓ Très grande température de fusion : diamant > 3550°C (pas de déformation plastique), Si : 1410°C.
- ✓ Isolation électrique et thermique.

- Liaison métallique

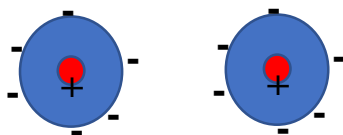
Une liaison métallique est une liaison chimique résultant de l'action d'un fluide d'électrons délocalisés unissant des atomes ionisés positivement.



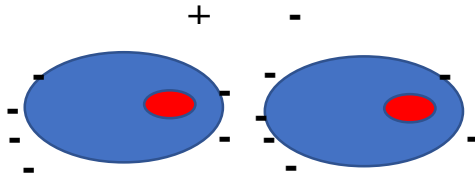
### 1.3.5.2. Liaison à faible énergie > 50 kj/mol

- Liaison de Van der Waals

Ce sont des liaisons type dipolaires (di = deux ; polaire = pôles), on les trouve dans les liaisons intermoléculaires. A l'intérieur de la molécule, on trouve les liaisons covalentes, qui forment la molécule, mais entre les molécules y a une possibilité d'avoir des attractions de type dipolaires.



Si on réussit à déformer le nuage électronique des deux atomes, en créant une distorsion entre les charges positives et les charges négatives, on aura deux pôles l'un est négatif et l'autre moins négatif (création d'un dipôles)

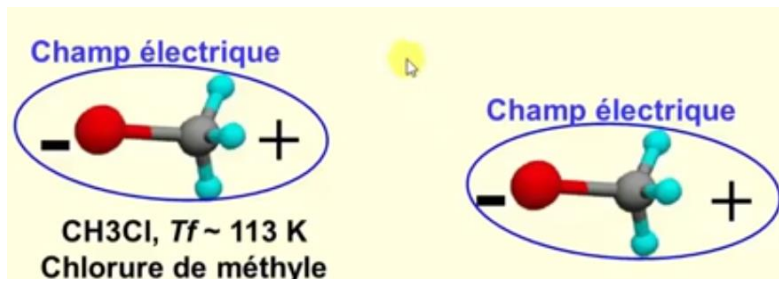


Les principales caractéristiques de ce type de matériau sont :

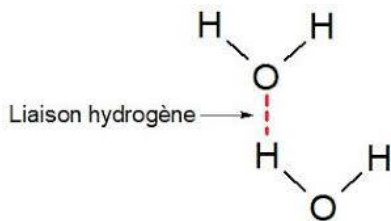
- Faibles énergie de liaison d'où la température de fusion est faible.

### Exemple

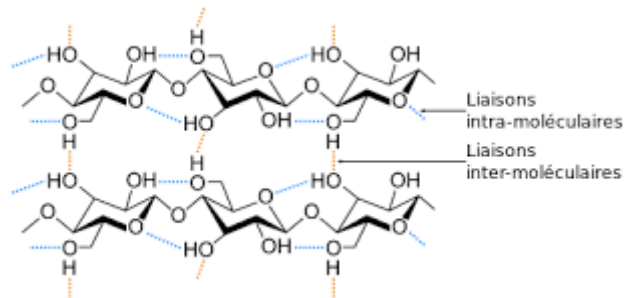
Si on prend un gaz de chlorure de méthyle et on comprime, de manière à déformer le nuage électronique, y aura formation des dipôles et par conséquent des liaisons type Van Der Waals, ce qui induira un changement d'état du gaz en se liquéfiant



- Liaison hydrogène



Liaison d'hydrogène de la molécule d'eau



Liaison d'hydrogène de la molécule d'eau

## 1.4. ETAT DE LA MATIERE

### 1.4.1. Etat solide ou liquide

Les atomes ou molécules sont suffisamment proches pour assurer des liaisons entre eux :

- Solide : volume et forme connus.
- Liquide : volume connu.

### 1.4.2. Etat gazeux

Les liaisons n'existent pas ou pas suffisamment pour créer une forme.

### 1.4.3. Ordre e désordre

La manière dont les atomes ou molécules sont agencés à très grand échelle (échelle atomique).

- Ordre crée le cristal
- Désordre crée l'amorphie

## 1.5. LES TROIS CLASSES DE SOLIDES

En fonction de la nature des liaisons de cohésion dans un solide, la Science des matériaux identifie trois classes de solides : les métaux, les céramiques et les polymères.

### 1.5.1. Les métaux et leurs alliages



<http://technologie-sciarretta.ovh/?p=837>

Parmi les éléments purs, on dénombre 84% de métaux. Ce sont des atomes qui possèdent des électrons périphériques peu liés au noyau et facile à capter.

Cela signifie qu'il est aisé d'obtenir des ions, ce qui a deux conséquences :

- Dans la nature, les métaux sont sous forme de sels très stables, le plus souvent des oxydes ou des sulfures. Il faut une grande quantité d'énergie pour réduire ces sels et obtenir l'état de métal. Leur élaboration sera donc énergivore.
- Les métaux s'oxydent facilement et sont donc (presque) tous capables de se corroder. C'est malheureusement un cas majeur de « ruine » des matériaux métalliques très fréquent.

A l'état solide, c'est évidemment la liaison métallique qui s'impose. De ce fait, tous les métaux sont cristallisés et très conducteurs de l'électricité et de la chaleur.

L'état cristallin procure aux métaux des propriétés mécaniques particulières et extrêmement importantes, et qu'il convient de citer dès maintenant :

- La plupart des métaux manifestent un comportement de déformation plastique appelé ductilité.
- Autre conséquence de la ductilité, certains métaux très ductiles présentent une très grande ténacité (énergie de déchirement).

Le tableau suivant rassemble les principales propriétés des métaux et alliages :

Propriétés physiques et mécaniques

- Solides atomiques de grande densité
- Cohésion par liaisons métalliques
- Températures de fusion moyennes
- Tous cristallisés dans des systèmes simples
- Très bons conducteurs électriques et thermiques
- Rigidité moyenne à élevée
- Déformables plastiquement et tenaces
- opaques à la lumière

Propriétés chimiques

- sensibles à l'oxydation

Caractéristiques économiques

Abondance et prix très variables  
 Nombreux fabricants  
 recyclage possible

1.5.2. Les céramiques



Pièces de roulements, composite Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>



Céramique antique

Si les éléments de base nécessaires pour élaborer les céramiques sont très courants (sables et roches), ces matériaux ne possèdent pas de procédés de mise en forme et d'assemblage aussi performant que ceux des polymères et des métaux. Et, surtout, le caractère fragile de leur comportement mécanique les rend inaptes à constituer des pièces de structure.

La cohésion de ces solides, repose sur des liaisons iono-covalentes. Ils sont obtenus par réaction d'un métal et d'un métalloïde léger, comme le bore, le carbone, l'azote, l'oxygène, ou un mélange de ces derniers.

Ce sont les matériaux des records ! Record de dureté, de rigidité, de résistance, de température de fusion.

Le tableau suivant rassemble les principales propriétés des métaux et alliages :

---

Propriétés physiques et mécaniques	<ul style="list-style-type: none"><li>• Combinaisons métal et élément léger : O, B, C et N.</li><li>• Solides moléculaires de densité moyenne</li><li>• Cohésion par liaisons iono-covalentes</li><li>• Températures de fusion très élevées</li><li>• Amorphes ou cristallisés</li><li>• Grande dureté</li><li>• Rigidité élevée</li><li>• Fragiles</li><li>• tenue mécanique élevée à chaud</li></ul>
Propriétés chimiques	<ul style="list-style-type: none"><li>• inertes jusqu'aux hautes températures</li></ul>
Caractéristiques économiques	<ul style="list-style-type: none"><li>• Céramiques traditionnelles et céramiques techniques</li><li>• Abondance et prix très variables</li></ul>
Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"><li>• Procédés anciens et simples ou très sophistiqués</li><li>• assemblage difficile</li></ul>

---

### 1.5.3. Les polymères organiques

Les polymères organiques proviennent de la polymérisation de molécules organiques légères (éléments légers) souvent simples, appelées monomères, et possédant au moins deux extrémités réactives. Celles-ci permettent de lier ces molécules entre elles et de former ainsi des chaînes carbonées très longues (jusqu'à un million d'atomes) et plus ou moins ramifiées, le long desquelles les atomes sont liés entre eux par des liaisons covalentes très fortes.



---

**Propriétés physiques et mécaniques**

- Chaînes carbonées contenant des éléments non-métalliques
- Solides moléculaires de faible densité
- Cohésion par liaisons faibles et covalentes
- Températures de fusion faibles
- Isolants thermiques et électriques
- Amorphes ou partiellement cristallisés
- Dilatation thermique importante
- Faible résistance mécanique
- Rigidité faible à très faible
- tenue mécanique très sensible à la température

**Propriétés chimiques**

- Réactivité chimique très variable, souvent très faible dans les conditions ambiantes
- sensibles au vieillissement et à la lumière

**Caractéristiques économiques**

- Abondance liée à la pétrochimie
- Prix très variables

**Mise en œuvre**

- Différente suivant les thermoplastiques ou les thermodurcissables
  - Procédés faciles très nombreux
- 

**1.5.4. Les matériaux hybrides**

Les matériaux hybrides sont constitués de plusieurs matériaux « élémentaires » différents, qui conjuguent leurs propriétés pour améliorer les performances d'un objet.

Cette conjugaison peut se faire dans la masse du matériau, le plus souvent à l'échelle de la microstructure (quelques dizaines de microns) et conduit aux matériaux composites.

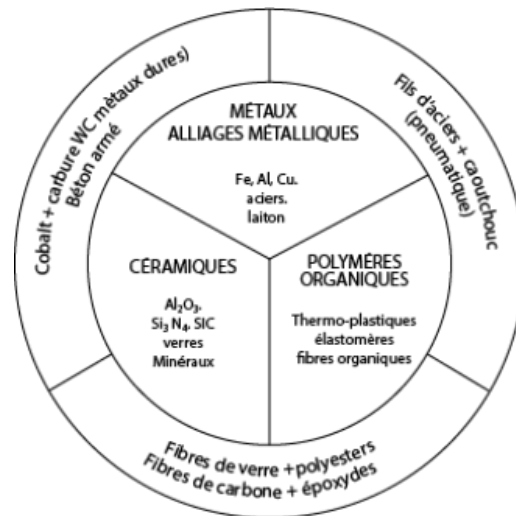
Elle peut aussi uniquement affecter la surface d'une pièce et provenir d'un revêtement ou d'un traitement de surface.

**1.5.4.1. Les matériaux composites**

Les matériaux composites ne forment pas une classe de matériaux à part. Ils sont obtenus par mélange de matériaux provenant chacun de l'une des trois classes précédentes. Leurs propriétés se trouvent modifiées de façon continue par la proportion de chaque composant.



En voici quelques exemples :



Exemples de matériaux composites/ 

Ces matériaux forment donc un compromis de comportement mécanique entre des composants de propriétés opposées. Par exemple, l'un est très dur et l'autre mou. Mais le premier est fragile, le second très tenace. On compense donc les défauts de chacun avec les avantages de l'autre.

#### 1.5.4.2. *Les matériaux naturels*

Seuls matériaux donnés à l'homme pour construire pendant des millénaires, les matériaux naturels présentent toujours un grand attrait et connaissent même un renouveau remarquable depuis quelques décennies. Pourtant, du fait de leur faible reproductibilité, les matériaux naturels ne font pas facilement bon ménage avec la rigueur de la production industrielle.

#### 1.5.4.3. *Les bois et ses dérivés*

On peut assimiler une pièce de bois à un matériau composite, composé de 40% de fibres très résistantes de cellulose, liées entre elles par une matrice de lignine. Les espèces de bois sont très nombreuses et variées mais tous les bois sont anisotropes (la résistance dépend beaucoup de l'orientation) et légers. Et surtout, le bois est un matériau renouvelable dans la nature, ce qui est une propriété remarquable.

Pour surmonter la limitation de taille imposée par celle des arbres, l'industrie a développé le bois lamellé-collé, le contreplaqué ou les panneaux de particules. Toutes ces formes modernes du bois tendent à modérer sa variabilité et son anisotropie pour assurer des approvisionnements aux propriétés stables.

#### 1.5.4.4. *Les fibres végétales*

Ces matériaux contiennent le même genre de molécules que les bois. Simplement, leur emploi se fait sous forme de fibre, le plus souvent pour constituer des barrières thermiques. On utilise pour cela le chanvre, le coton, la paille, le sisal, le lin.

#### **1.5.4.5. *Les roches***

Les roches constituent les matériaux les plus pondéreux utilisés par l'homme. Ces solides sont tous de la classe des céramiques et servent essentiellement aux ouvrages du génie civil (murs, fondations de bâtiments, composants du béton, carrelages, isolants thermiques).

Ils sont peu employés comme structures de machines ou de systèmes mécaniques.