

# CYCLES D'INGÉNIEURS

Génie Electromécanique, Génie industriel et Génie mécanique

**Chapitre 1**

**Propriétés et Applications des matériaux**

**Chapitre 2**

**Désignation des matériaux**

**Chapitre 3**

**Caractérisation mécaniques des matériaux**

**Chapitre 4**

**Diagramme de phase et diagramme fer-carbone**

**Chapitre 5**

**Traitement thermiques des aciers**

**Chapitre 6**

**Choix des matériaux pour les applications industrielles**

# Chapitre 1 :

## **Propriétés et Applications des matériaux**

- 
- I. Sciences des matériaux**
  - II. Comment définir un matériau ?**
  - III. Groupes des matériaux**
    - 1. Les métaux et les leurs alliages ;**
    - 2. Les polymères ;**
    - 3. Les céramiques ;**
    - 4. Les matériaux composites.**
  - IV. Propriétés des matériaux**
  - V. Utilisation des matériaux**

**La science des matériaux a pour objectif d'établir les relations existantes entre la composition et l'organisation atomique ou moléculaire, la microstructure et les propriétés macroscopiques des matériaux.**

## II. Comment définir un matériau

- La matière dont est formé le monde qui nous entoure est composée de **particules discrètes**, ayant une taille submicroscopique.
- Nous définissons les matériaux comme les **solides** utilisés par l'homme pour la fabrication d'objets qui constituent le support de son cadre de vie.

## II. Comment définir un matériau

- La matière dont est formé le monde qui nous entoure est composée de **particules discrètes**, ayant une taille submicroscopique.
- Nous définissons les matériaux comme les **solides** utilisés par l'homme pour la fabrication d'objets qui constituent le support de son cadre de vie.

### III. Groupes des matériaux

**On distingue habituellement quatre groupes principaux de matériaux :**

**1. .... ;**

**2. Les polymères ;**

**3. .... ;**

**4. Les matériaux composites.**

## • LES MÉTAUX ET LEURS ALLIAGES :

• Les ..... les plus utilisés sont le **fer**, **aluminium** et le **cuivre**.

• Les ..... sont, en général, les combinaisons de deux ou de plusieurs métaux comme dans le cas **des laitons** (alliages de cuivre et de Zinc),

• mais ils peuvent également contenir des éléments non métalliques.

• Parmi ce type d'alliage on trouve, par exemple, les **aciers** (alliages fer- carbone).

## Principaux métaux

### Aluminium

- Il pèse environ le **tiers de l'acier** ou du cuivre (faible **densité**);
- il est **ductile** et **facilement usiné et moulé**.
- Il possède une excellente **résistance à la corrosion** et une grande longévité.
- Application: industrie **aérospatiale**, secteurs du **transport** et de la **construction** où sa faible densité, sa longévité et sa résistance sont nécessaires.

### Cuivre

- C'est un **Métal** de couleur rougeâtre, il possède une **haute conductivité thermique et électrique**.

## Principaux alliages

### 1. Alliages ferreux :

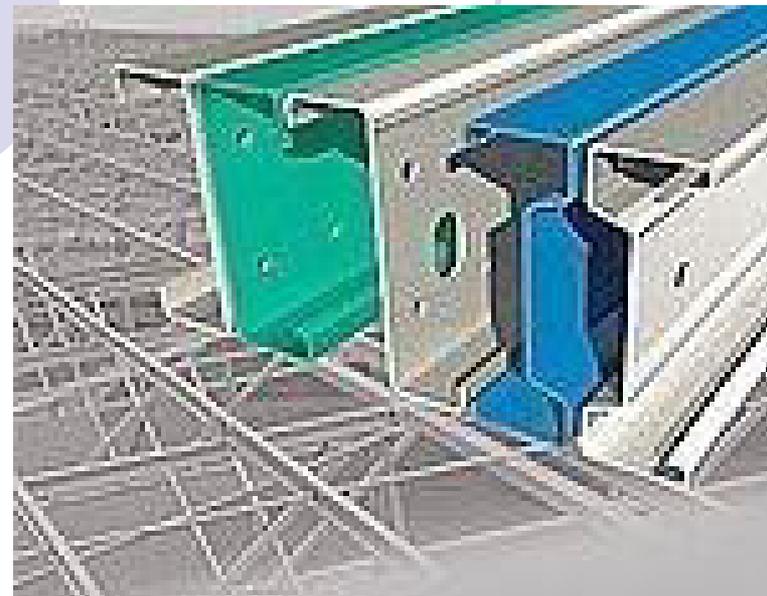
- **Fonte** : **fer + carbone** (à plus de 2,1 % en masse de carbone)
- **acier** : **fer + carbone** (à moins de 2,1 % en masse de carbone)
- **acier inoxydable** : **fer + carbone + chrome**, et parfois **nickel, molybdène, vanadium**

## **Alliages ferreux (aciers, fontes)**

- Production mondiale 20 fois plus élevée que celle des autres métaux.**
- Excellentes propriétés mécaniques**
- Prix de revient peu élevé**
- .....
- Moins appropriés pour applications nécessitant rigidité et poids faible**

### ❑ Aciers à faible teneur en C

- *Exemples d'utilisation* : carrosseries de voiture, profils de construction, boîtes de conserve



Fontes  
 $\% C > 2.14$

Fonte  
grise

Fonte  
nodulaire ductile

Fonte  
blanche

Fonte  
malléable

*Les Fontes - quelques applications*



Boîtiers



Paliers



Tubulures



Carters



Moules pour verrerie



A quoi sert l'acier inoxydable ?

❑ *Exemple d'objets en acier inoxydable*



# • LES MÉTAUX ET LEURS ALLIAGES :

## 1. Alliages ferreux :

## 2. Alliages non ferreux :

• bronze : cuivre + étain ;

• laiton : cuivre + zinc

• alliages d'aluminium, alliages de cuivre (laiton, bronze...), alliages de zinc, alliages de titane, alliages de magnésium, alliages de cuivre, alliages de zinc, alliages de plomb... ;

• Alliages réfractaires (alliages de molybdène, alliages de tungstène) ;

• Superaliages à base de nickel ou de cobalt ;

## • **LES MÉTAUX ET LEURS ALLIAGES :**

1. Alliages non ferreux :

2. Alliages non ferreux :

### □ **Avantages des métaux non ferreux ;**

- **Grande résistance à la corrosion**
- **Grande facilité de formage, de travail à l'outil et à la forge**
- **Meilleur fini de surface**
- **Meilleures propriétés mécaniques et physiques que les métaux ferreux (à poids égal)**
- **Plus coûteux que les métaux ferreux.**

**Principaux alliages**  
**Alliages non ferreux :**

**Cuivre et ses alliages**

**• Applications :**



***Soupape de régulation pour la distribution d'eau potable.***

Un large domaine d'application



Raccord rapide



Clapet anti-retour



Corps de compteur à eau



Plancher chauffant



Thermostat de four

**Principaux alliages**  
**Alliages non ferreux :**

**Cuivre et ses alliages**

Cu + Sn + autres éléments Zn, P, Pb

**: Bronze**

| <b>Exemples</b> | <b>Rm N/mm<sup>2</sup></b> | <b>Applications</b> | <b>Désignation</b>  |
|-----------------|----------------------------|---------------------|---|
| Cu Sn5 Zn4      | 450                        | <i>Tous usages</i>  | Cu Sn5 Zn<br><i>Explication : Cuivre<br/>           Etain 5%, Zinc &lt;1%</i> |
| Cu Sn12 Zn1     | 230                        | <i>Coussinets</i>   |   |
| Cu Sn7 Pb6 Zn4  | 220                        | <i>Moulages</i>     |   |
| Cu Sn9 P        | 550                        | <i>Frottement</i>   |   |



*Boîtier de pompe coulé en **Bronze**.*



*Coussinets en **Bronze**.*

## • LES MÉTAUX ET LEURS ALLIAGES :

- Les métaux et les leurs alliages sont ordinairement très **bons conducteurs** de la chaleur et de l'électricité
- et **opaques** à la lumière visible.
- Ils sont le plus souvent **durs**,
- **rigides**
- et **déformables plastiquement (ductile)**.

# Les polymères ;

- **Polymères “naturels”** : coton, laine, cuir, soie, ...
- **les matières plastiques** :
  - ❑ **Thermoplastiques** : PET, PVC, PE, PA, PS... ;
  - ❑ **Thermodurcissables** : phénoplastes  
(bakélite), les polyesters... ;
  - ❑ **Les élastomères (ou caoutchoucs)** :

### Les polymères les plus connus sont

❖ le poly chlorure de vinyle (PVC), le polyéthylène (PE) et le polystyrène (PS).

Ils sont souvent connus par leur marque de fabrique :

❖ Poly méthacrylate de méthyle (PMMA : Plexiglas), le polyamides (PA : Nylons) et le polytétrafluoroéthylène (PTFE : Téflon).

➤ Ils sont presque toujours des isolants électrique et thermiques.

➤ Ils sont légers et très faciles à mettre en forme.

➤ Contrairement aux métaux, ils sont peu rigides

➤ et ne supportent pas, la plupart des temps, des températures supérieures à 200°C.

### □ Thermoplastiques

Les thermoplastiques se déforment et sont façonnables sous l'action de la chaleur, reprennent leur forme initiale en refroidissant sauf dans le cas de réchauffements répétés.

Les plus célèbres sont le PVC (gaines de câble, tubes, etc), le polystyrène (jouets, ustensiles de cuisine, etc), les acryliques, les polyamides.

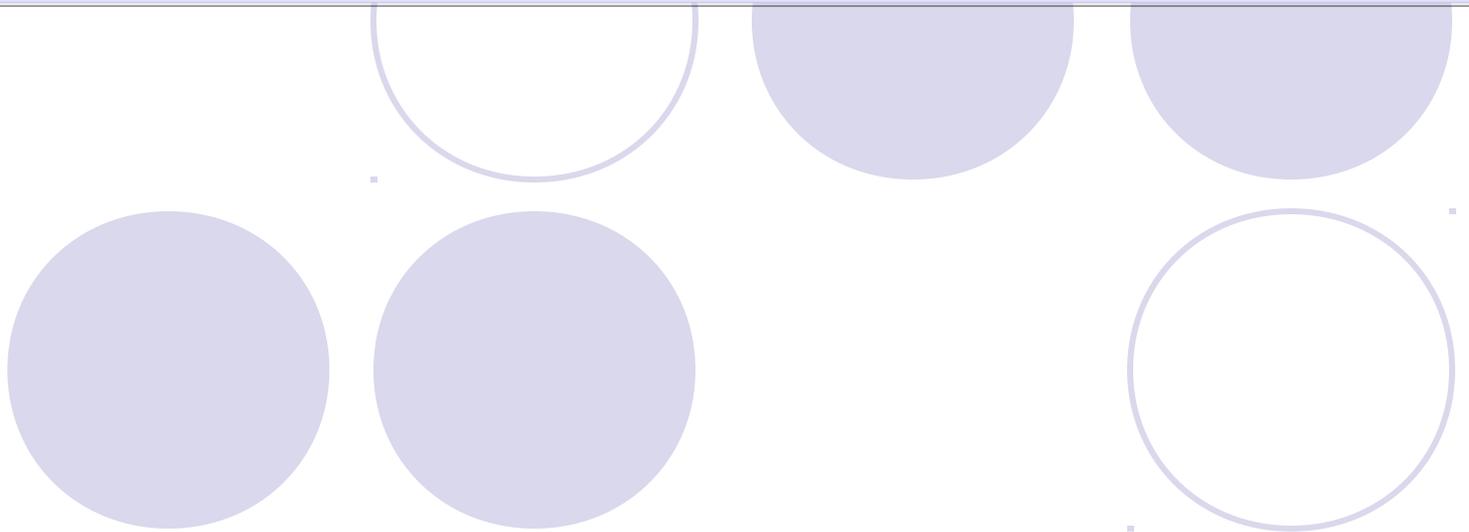
### □ Thermodurcissables

Les thermodurcissables prennent leur forme définitive au premier refroidissement, la réversibilité est impossible.

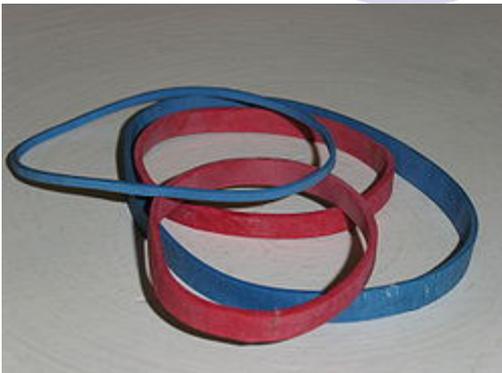
Les plus célèbres sont les phénoplastes (bakélite), les polyesters.

### □ Les élastomères ou « caoutchoucs »

On peut les considérer comme une famille supplémentaire de polymères aux propriétés très particulières. Ils sont caractérisés par une *très grande élasticité*.



- ❑ Architecture : structure 3D via des liens covalents (1 Macromolécule)
- ❑ Solide souples et hautement déformables (jusqu'à 600-700%)
  - ❑ Exemples : chambre à air ; ballon ; pneu ; Ressorts de compression, Bracelets en caoutchouc, bandes transporteuses, tuyaux, gants, chaussures, etc.



- ❑ Séquence vidéo 3, 4 et 5 :  
*Elastomères*

- **Les céramiques traditionnelles** : faïences, vaisselle, poteries, ciments, plâtres... et les produits à base de silice ( $\text{SiO}_2$ ) : verres...
- **Les céramiques techniques** ; pièces pour machine, creusets, briques réfractaires ;
- **Céramiques pour la construction** (briques, blocs, tuiles, ardoises, pavés,...)

✱ Plus récentes, elles sont soit fonctionnelles, à « usage électrique », soit structurales, à usage mécanique ou thermomécanique.

### Utilisations :

✱ fibre optique (silicium), outils de coupe (carbures), joints d'étanchéité, isolants...

✱ Les matériaux céramiques se distinguent par leur caractère réfractaire,

✱ c'èd qu'ils ont des résistances mécaniques et thermiques élevées.

✱ Les céramiques sont en général très dures et très fragiles.

# Les céramiques

✦ Les verres minéraux, qui sont des combinaisons d'oxydes ( $\text{SiO}_4 + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}$ ) à structure amorphe, appartiennent également à la classe des céramiques.

## verre

- Le verre est un matériau **dur, fragile** (cassant) et **transparent**.
- C'est un solide **amorphe** (c'est-à-dire non cristallin) composé essentiellement d'oxyde de silicium ou *silice* ( $\text{SiO}_2$ ).

## Applications du verre

- Il est utilisé essentiellement en optique pour ses propriétés transparentes (lentilles, vitres, verres de lunette),
- ainsi qu'en chimie et dans l'industrie agro-alimentaire : il réagit très peu, c'est donc un matériau idéal pour les contenants (**bouteilles, pots de yahourt, bechers, colonne de distillation, éprouvettes, tubes à essai...**) et les tubes.

- ❑ **Les trois types de matériaux** peuvent être combinés pour former des matériaux composites.
- ❑ Un matériau composite est constitué de deux ou plusieurs matériaux différents qui combinent leurs propriétés spécifiques.
- ❑ Ils sont composés d'un matériau de base (**matrice** ou liant) **renforcé** par des fibres, d'un autre matériau.
- ❑ En renfort, on utilise la fibre de verre (économique) et la fibre de carbone (plus coûteuse).

## Exemples

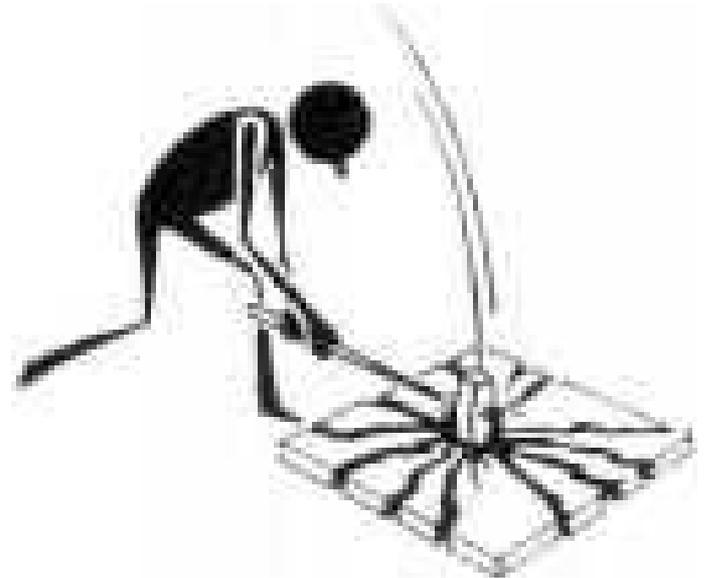
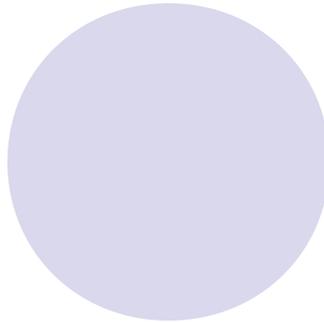
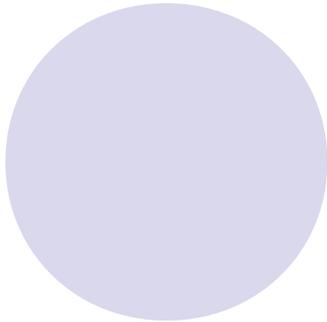
- Les **résines époxydes** (polymère) renforcées par des **fibres de verre** qui forment **un composite** .....
- ..... ;
- Le **béton**, agglomérat de **ciment** et de **gravier**, représente un autre exemple de **matériau composite**.

## Propriétés des matériaux

- Le comportement d'un matériau est caractérisé par sa réaction à une sollicitation.
- On définit une propriété d'un matériau comme étant la mesure d'un comportement par essai.
- On peut distinguer trois catégories de propriétés selon le type de sollicitation extérieure :
  - Les propriétés mécaniques qui reflètent le comportement des matériaux déformés par des systèmes de forces (ductilité, dureté, rigidité, résistance).
  - Les propriétés physiques qui mesurent le comportement des matériaux soumis à l'action de la température, des champs électriques ou magnétiques, ou de la lumière.
  - Les propriétés chimiques qui caractérisent le comportement des matériaux soumis à un environnement plus ou moins agressif.

## Fragilité

- Un métal fragile est un métal qui .....
- Le **verre**, la **fonte**, le **béton** et les **céramiques** sont d'excellents exemples de matériaux fragiles.
- Ils ne supportent pas les efforts de pliage et se brisent lors d'un choc.



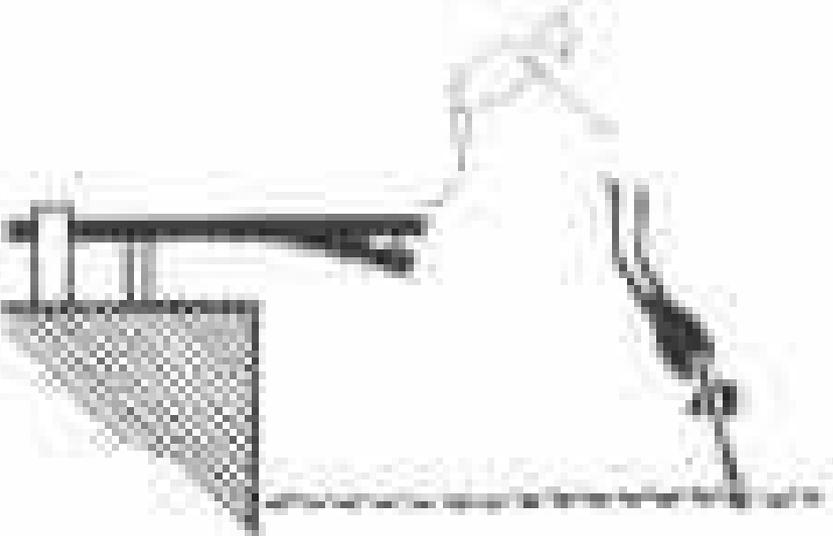
## Ductilité

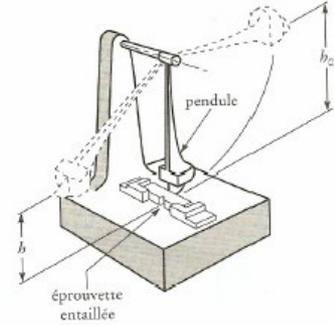
Un matériau est dit ductile lorsqu'il peut être .....

..... Des métaux comme l'or, le cuivre et l'acier doux sont ductiles.

## Elasticité

L'élasticité d'un métal désigne sa capacité à reprendre sa forme, tel un ressort que vous étirez et relâchez. La limite d'élasticité représente le point à partir duquel la pièce est déformée de manière permanente.



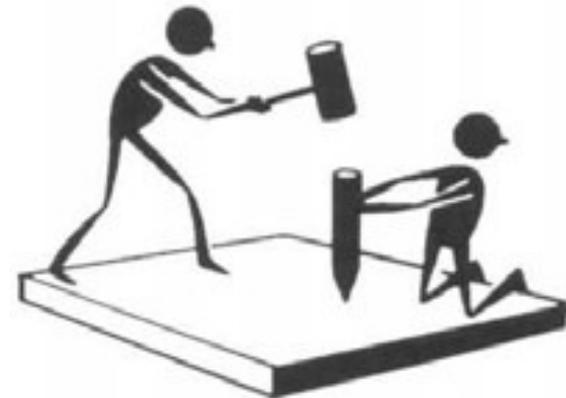


## Ténacité : résistance au choc

- Cette propriété est en quelque sorte le contraire de la fragilité.
- Connue aussi sous le terme de "résilience",
- la ténacité est la capacité d'un matériau .....
- .....
- Par exemple, l'acier est plus tenace que la fonte, et la fonte plus tenace que le verre.
- **Les machinistes-outilleurs** œuvrant dans la fabrication de systèmes de poinçon et de matrices en acier connaissent fort bien l'importance de cette propriété.
- Lorsque les systèmes ont pour fonction de découper des plaques d'acier par poinçonnage,
- il faut que les poinçons résistent bien aux chocs, sans se briser ni s'écailler, étant donné le rythme de production de plus en plus élevé.

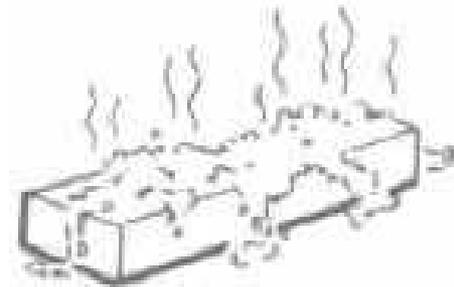
### Dureté

- La dureté d'un matériau est définie comme la résistance qu'il oppose ..... plus dur que lui.
- Par exemple, **l'acier est plus dur que l'aluminium**, car il est plus difficile à rayer.
- En d'autres termes, la dureté dépend de la facilité avec laquelle un corps peut déformer ou détruire la surface d'un matériau en y pénétrant.



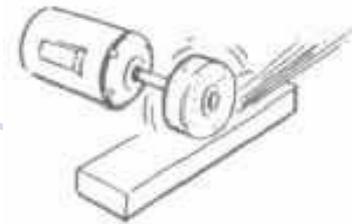
### Résistance à la corrosion

- ❑ La résistance à la corrosion désigne la capacité d'un matériau de ne pas se dégrader sous l'effet de la combinaison chimique de l'oxygène de l'air et du métal.
- ❑ Les alliages d'acier au nickel-chrome (aciers inoxydables), d'aluminium-silicium magnésium et d'aluminium-zinc résistent tous bien à la corrosion.



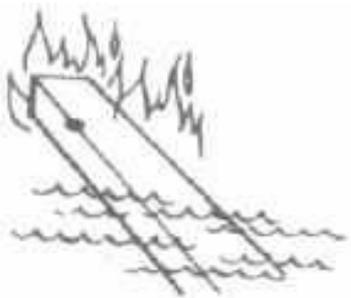
### résistance à l'abrasion

- La résistance à l'abrasion désigne la résistance d'un corps dur à l'usure par frottement.
- Plus un matériau est dur, plus il résiste à l'abrasion.
- Les aciers à outils (à haute teneur en carbone), les aciers inoxydables et les aciers rapides (aciers alliés très durs) présentent une bonne résistance à l'abrasion.
- Par exemple, pour meuler un acier à outils, on choisit une meule différente de celle qu'on utilise pour de l'aluminium, qui, lui a très peu de résistance à l'abrasion.



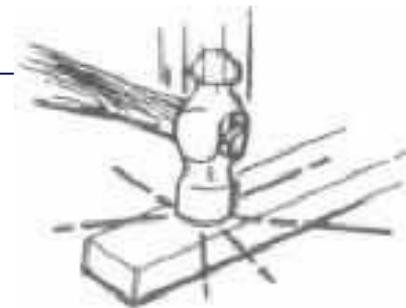
### Dilatation et contraction thermiques

- ❑ D'une manière générale, les matériaux subissent un allongement sous l'effet de la chaleur ; c'est la dilatation.
- ❑ À l'opposé, ils subissent un raccourcissement sous l'effet de froid ; il s'agit de la contraction.
- ❑ Les matériaux ne réagissent pas tous de la même façon sous une même température, car ils ont des coefficients thermiques différents.
- ❑ Par exemple, l'aluminium peut se dilater environ deux fois plus que l'acier sous une même variation de température.



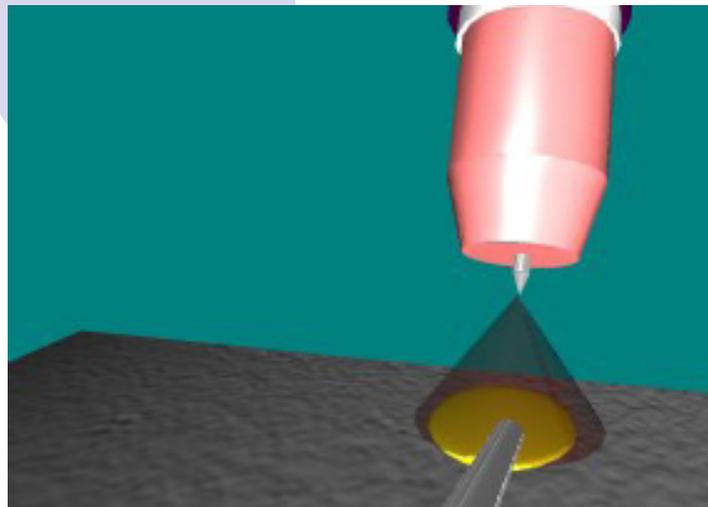
### Fatigue

- ✓ La fatigue est la détérioration d'un matériau soumis à des charges répétées.
- ✓ Ces sollicitations répétées se terminent souvent par une rupture.
- ✓ Même si les forces de sollicitations ne sont pas importantes, elles finissent par provoquer la rupture.
- ✓ Il existe de nombreux exemples de rupture sous l'effet de fatigue.
- ✓ Pensez, par exemple, aux ailes d'avions, aux pièces de transmission, aux vilebrequins, etc.
- ✓ Les charges variables et les conditions de fonctionnement répétitives sollicitent ces éléments constamment.



### Point de fusion

- Le point de fusion d'un métal est la température à laquelle il passe à l'état liquide sous l'action de la chaleur.
- Le point de fusion d'un métal détermine en grande partie sa soudabilité.
- Les métaux dont le point de fusion est bas exigent moins de chaleur pour être soudés.





### Conductivité

- ✓ La conductivité est la capacité d'un matériau de conduire ou de transférer la chaleur ou l'électricité.
- ✓ La **conductivité thermique** est particulièrement importante en soudage, puisqu'elle détermine la vitesse à laquelle le métal transfère la chaleur depuis la zone thermiquement affectée (ZTA).
- ✓ La **conductivité thermique** d'un métal permet de déterminer le préchauffage nécessaire et la quantité de chaleur requise pour le soudage.

# Application

1,A

# Principaux métaux

- ✓ Fer, aluminium, cuivre, zinc, titane, magnésium, plomb etc.
- ✓ molybdène, tungstène (Métaux réfractaires) ;

## Question 2

- ❑ *Classer ces matériaux selon la densité (ordre croissant) : Acier, Aluminium, fonte grise :*

.....<.....<..... ;

- ❑ *Classer ces matériaux selon la température de fusion (ordre croissant) : Acier, Aluminium, fonte grise : .....*

<.....<..... ;

## Caractéristiques des principaux matériaux

| Métaux      | Symbole  |               | Densité | Point de fusion (°C) |
|-------------|----------|---------------|---------|----------------------|
|             | Chimique | Métallurgique |         |                      |
| Aciers      | -        | -             | 7.8     | 1400                 |
| Aluminium   | Al       | A             | 2.7     | 660                  |
| Antimoine   | Sb       | R             | 6.7     | 630                  |
| Argent      | Ag       | -             | 10.5    | 960                  |
| Béryllium   | Be       | Be            | 1.85    | 1278                 |
| Bismuth     | Bi       | Bi            | 9.8     | 271                  |
| Bore        | B        | B             | 2.3     | 2400                 |
| Cadmium     | Cd       | Cd            | 8.64    | 320                  |
| Carbone     | C        | -             | 2.22    | 3700                 |
| Chrome      | Cr       | C             | 7.2     | 1890                 |
| Cobalt      | Co       | K             | 8.9     | 1495                 |
| Cuivre      | Cu       | U             | 8.9     | 1083                 |
| Etain       | Sn       | E             | 7.28    | 232                  |
| Fer         | Fe       | Fe            | 7.88    | 1535                 |
| Fonte grise | -        | -             | 7.2     | 1200                 |
| Magnésium   | Mg       | G             | 1.74    | 650                  |
| Manganèse   | Mn       | M             | 7.4     | 1245                 |
| Mercure     | Hg       | -             | 13.59   | -39                  |
| Molybdène   | Mo       | D             | 10.2    | 2625                 |
| Nickel      | Ni       | N             | 8.9     | 1455                 |
| Niobium     | Nb       | Nb            | 8.5     | -                    |
| Or          | Au       | -             | 19.3    | 1063                 |
| Phosphore   | P        | P             | 1.83    | 44                   |
| Platine     | Pt       | -             | 21.46   | 1769                 |
| Plomb       | Pb       | Pb            | 11.34   | 327                  |
| Rhodium     | Rh       | -             | 12.2    | 2000                 |
| Silicium    | Si       | S             | 2.33    | 1430                 |
| Soufre      | S        | F             | 2.07    | 119                  |
| Tantale     | Ta       | Ta            | 16.6    | 3000                 |
| Titane      | Ti       | T             | 4.5     | 1820                 |
| Tungstène   | W        | W             | 19.3    | 3410                 |