Chapitre I : Structure, matériaux et propriétés

1 Introduction

La structure d'un matériau correspond à la façon dont s'agencent ses éléments constitutifs.

Plusieurs échelles :

- Échelle subatomique : noyau et électrons
- Échelle atomique : disposition des atomes ou molécules les uns par rapport aux autres
- Échelle microscopique : groupes d'atomes
- Échelle macroscopique : éléments de structure visibles à l'œil nu

Tous les matériaux interagissent avec des agents extérieurs lorsqu'ils sont utilisés

Par exemple :

- Un matériau sur lequel s'exerce une force subit une déformation
- Une surface métallique polie réfléchit la lumière…

6 grandes catégories de propriétés :

- Mécaniques
- Electriques
- Thermiques
- Magnétiques
- Optiques
- Chimiques

2 Propriétés mécaniques

Elles concernent la déformation d'un matériau soumis à une force :

- La résistance : caractérise la contrainte maximale que peut supporter un matériau avant de se rompre
- La dureté : résistance d'un matériau à la pénétration
- La ductilité : capacité du matériau à se déformer de manière irréversible avant de rompre
- La rigidité : fonction de l'intensité des liaisons entre atomes ou molécules (module d'Young)
- La ténacité : capacité d'un matériau à emmagasiner de l'énergie avant sa rupture

3 Exemples de contraintes

3.1 Contraintes normales : Traction simple

Corps cylindrique soumis à deux forces F1 et F2 (Figure 1)

- colinéaires
- normales à la section
- de même valeur F1=F2=F
- opposées

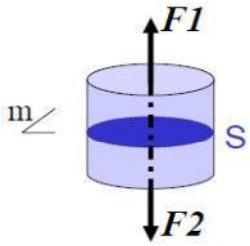
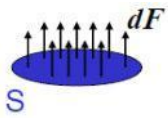


Figure 1

Selon le plan (m) ⊥ axe de traction, la surface S est soumise à une série de forces dF (Figure 2)



$\Sigma\, dF = F$

Figure 2

La surface S est soumise à une contrainte normale de traction :

$$\sigma = \frac{dF}{dS} \quad (1) \qquad F = \iint_S \sigma\, dS$$

Pour une traction simple, σ est la même sur toute la surface S

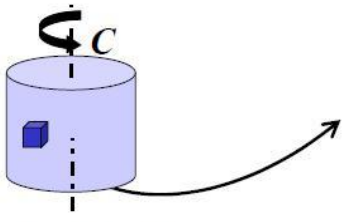
(1) devient $\sigma = \frac{F}{S}$

contrainte normale de traction

contrainte perpendiculaire à la surface S

3.2 Contraintes tangentielles : torsion simple

Figure 3



Couple de torsion C
exercé sur le cylindre

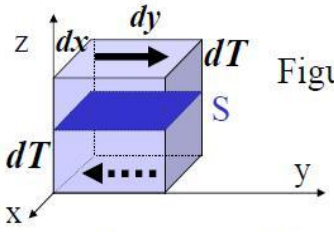


Figure 4

Force élémentaire dT
sur le volume dx dy dz

$$\tau = \frac{dT}{dx\,dy} \quad (2)$$

contrainte élémentaire τ constante sur S

$$\tau = \frac{T}{S}$$

contrainte tangentielle de cisaillement ou cission → ***contrainte parallèle à la surface S***

4 Déformation

4.1 Déformation de traction

Considérons un élément de matière cubique : Figure 4

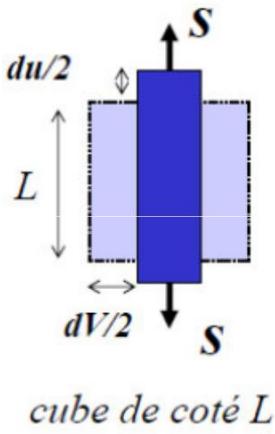


Figure 4

Après application de la contrainte σ , le cube est déformé selon les 3 directions :

- allongement du // traction ε = du / L déformation longitudinale
- accourcissement dv ⊥ traction $\varepsilon_{\perp}$ = dv / L déformation latérale

Le coefficient de Poisson ν relie les deux déformations : $\nu = -\varepsilon_{\perp} / \varepsilon_{//}$

4.2 Déformation de cisaillement

Après application de la contrainte τ (Figure 5)

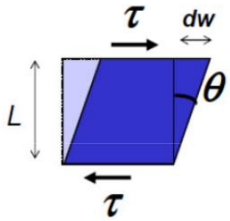


Figure 5

le cube est déformé en cisaillement γ

γ= dw / L= tan θ

Si les déformations sont faibles en première approximation

$\gamma = \theta$ *angle de cisaillement*

4.3 Dilatation

Lorsque les déformations entraînent un changement de volume du corps qui subit l'action des forces extérieures

On définit la dilatation:

$$\Delta = \Delta V / V$$

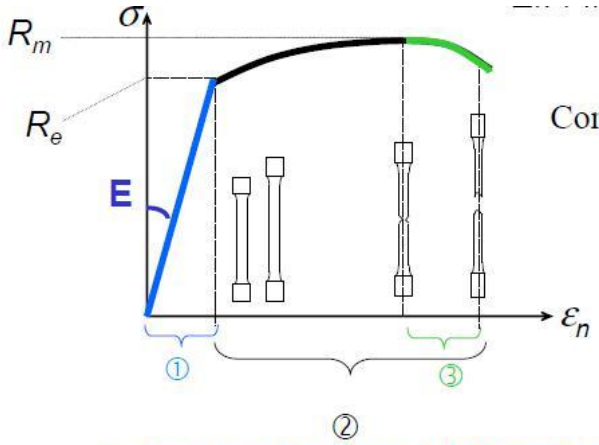
Remarque sur les unités

force (F ou T)	N (Newton)
surface S	m^2
Contrainte σ = force / surface	$N.m^{-2}$ ou Pa (Pascal)
Déformation ε = variation de longueur / longueur ($\Delta L/L$)	*sans dimension*

5 Comportement mécanique

5.1 Courbe contrainte –déformation

Ex : matériau ductile (Figure 6)



Contrainte nominale : $\sigma_n = F / S_0$

Déformation nominale :

$\varepsilon_n = \Delta L / L_0$

① domaine élastique (déformation réversible)

② domaine plastique (déformation irréversible)

③ striction puis rupture (déformation irrémédiable)

Domaine élastique →contrainte est proportionnelle à la déformation (loi de Hooke)

→ constante de proportionnalité E (module d'Young)

courbe contrainte-déformation d'un matériau ductile,*E, R_e, R_m*

- **Module d 'Young E**

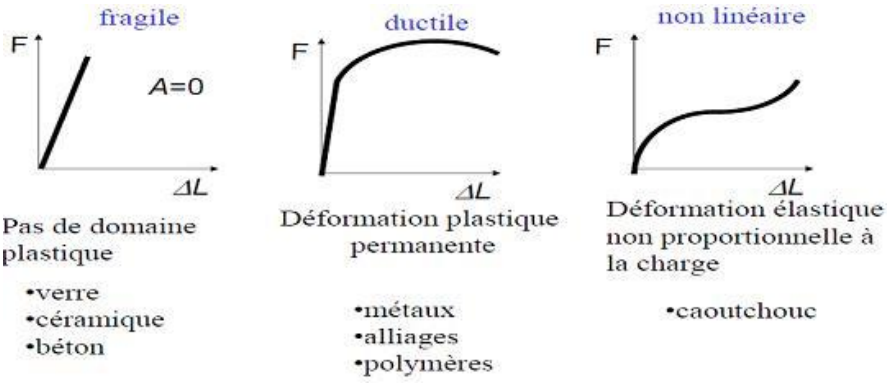
$$\sigma_n = E\,\varepsilon_n$$

E caractéristiques intrinsèques du matériau

- **Limite d'élasticité** R_e = limite entre zones élastique et plastique
- **résistance à la traction R_m** contrainte maximale atteinte durant l'essai de traction

5.2 Classification des matériaux

Trois comportements possibles (Figure7)



6 Outils de caractérisation des surfaces rompues

Les propriétés mécaniques (R_e, R_m, E…) dépendent de la microstructure des matériaux

→ contrôler leurs propriétés, il faut décrire et quantifier leur microstructure

Microstructure { nature densité et arrangement des défauts
nature des phases en présence
morphologie des phases
dispersion des phases

6.1 Microscopie optique

Observation de la microstructure de matériaux opaques

→ métaux, alliages

→ céramiques

→ coupe métallographique

Mise en évidence

→ des différents constituants

→ des grains et joints de grains, leurs discontinuités,

→ des figures cristallines

6.2 Microscopie électronique à balayage

Le MEB est un instrument très utilisé pour la caractérisation des matériaux

→ Pas de préparation spéciale des échantillons (sauf isolants : métallisation)

→ Plusieurs informations

Le microscope électronique à balayage permet d'obtenir des informations sur :

- La topographie de la surface d'un objet
- La morphologie des grains le constituant
- Sa composition
- Sa structure cristallographique