

CHAPITRE 3

Caractérisations mécaniques :

1.

2.

3.

4.

5. FATIGUE (RECHERCHE)



Propriétés et applications des métaux et alliages:

- **applications des métaux : 2 Vidéos
(cuivre et alliages; Métaux)**

Caractérisation des matériaux

Pour connaître les propriétés d'un matériau, il faut le caractériser.

Caractérisation des matériaux

Pour connaître les propriétés d'un matériau,
il faut le caractériser.

Pourquoi caractériser les matériaux?

1. La caractérisation des matériaux c'est la
quantification des propriétés:

- Mécanique
- Électrique
- Thermique, etc.

2. Déterminer les données à utiliser en conception

- est-ce qu'une pièce va casser!!!
- est-ce qu'une pièce va se déformer !!!

Caractérisation des métaux

- La couleur
- La finition de surface
- Le poids
- Le point de fusion
- La malléabilité
- La dureté
- La soudabilité
- Le coefficient de dilatation

Caractérisation des métaux

Il est possible de caractériser les métaux par:

- La conductibilité électrique et thermique
- La limite d'élasticité
- La résistance
 - à la traction, à la compression
 - à la flexion
 - à la torsion
 - au cisaillement
 - aux variations de températures
 - à la corrosion

Essai de traction

Principe de l'essai

- Des éprouvettes du matériau concerné, en forme de

.....
comportant une partie centrale calibrée à section constante S_0 et longueur L_0

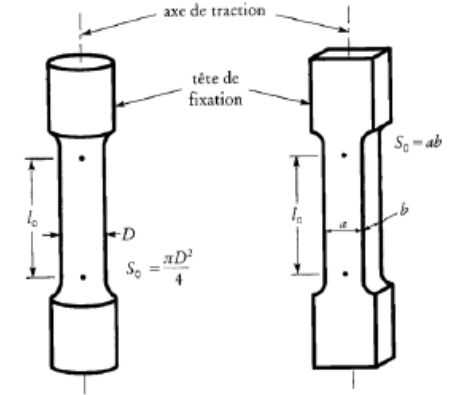
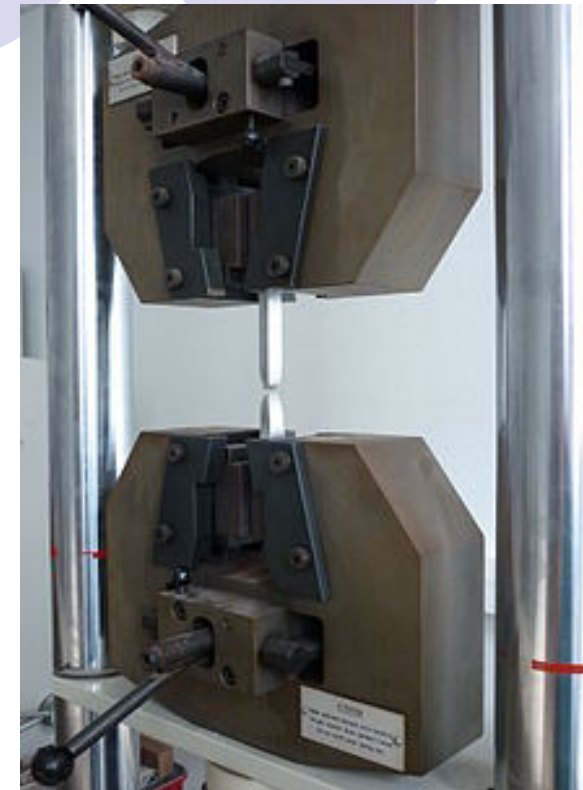
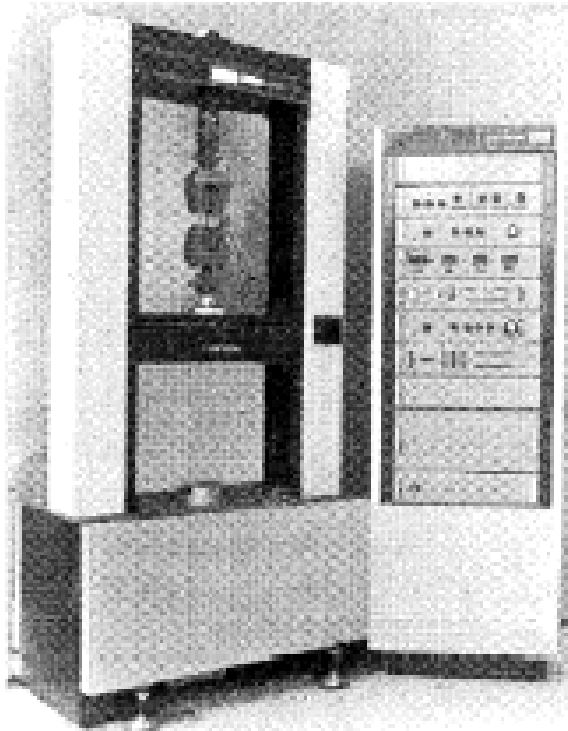


Figure 1.5 Éprouvettes de traction.

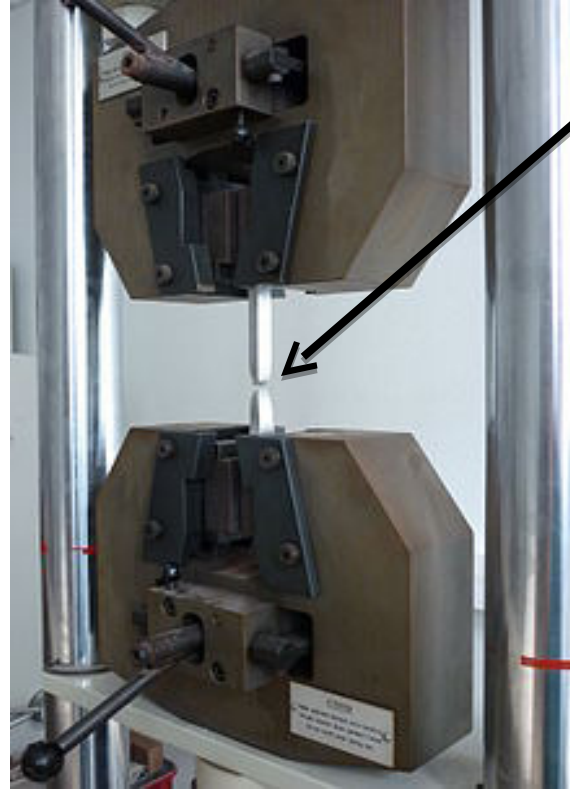
- raccordée à chaque extrémité à deux têtes de section plus importante, sont fixées dans une machine de traction.
- Sauf indications contraires, l'essai est effectué à la température ambiante
- Consiste à imposer une vitesse de déformation constante et à mesurer l'effort F et l'allongement



Essai de traction



(a)



On remarque la **striction** au centre de l'éprouvette

FIG. a) Machine de traction ; b) éprouvette de traction

Essai de traction

La forme et les dimensions des éprouvettes dépendent de la forme et des dimensions *des produits métalliques dont on veut déterminer les caractéristiques mécaniques*

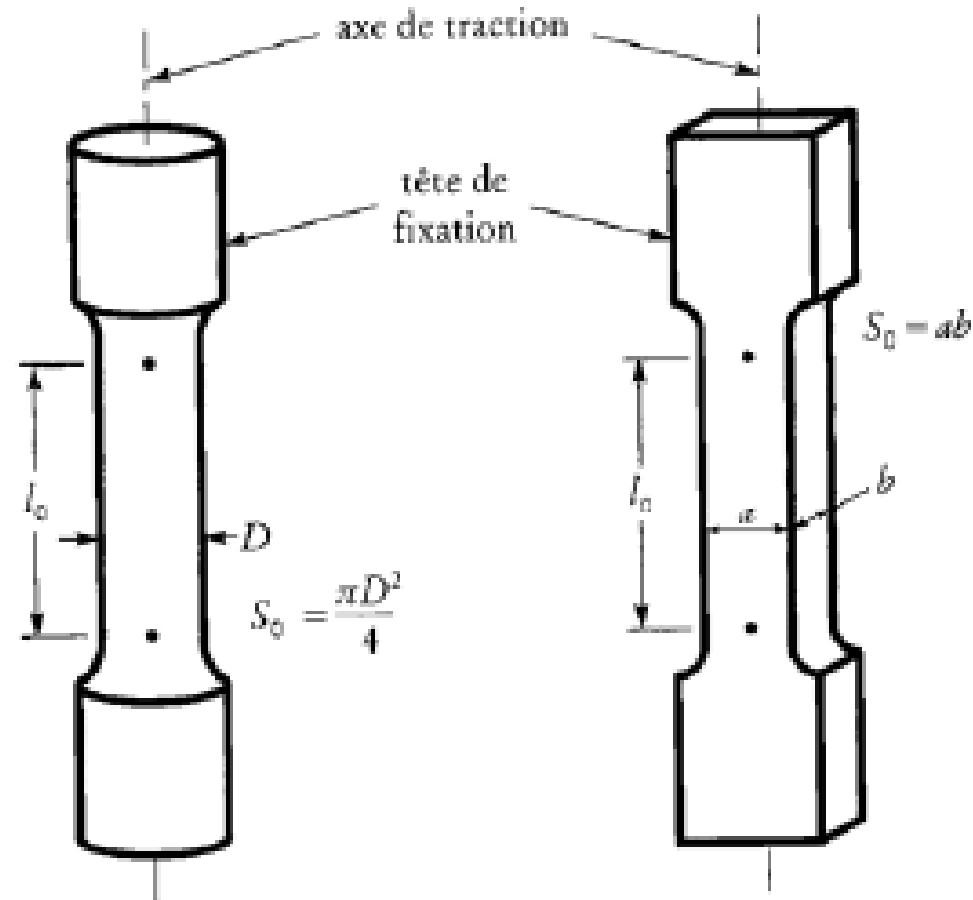


Figure 1.5 Éprouvettes de traction.

Essai de traction

Courbe de traction d'un matériau ductile

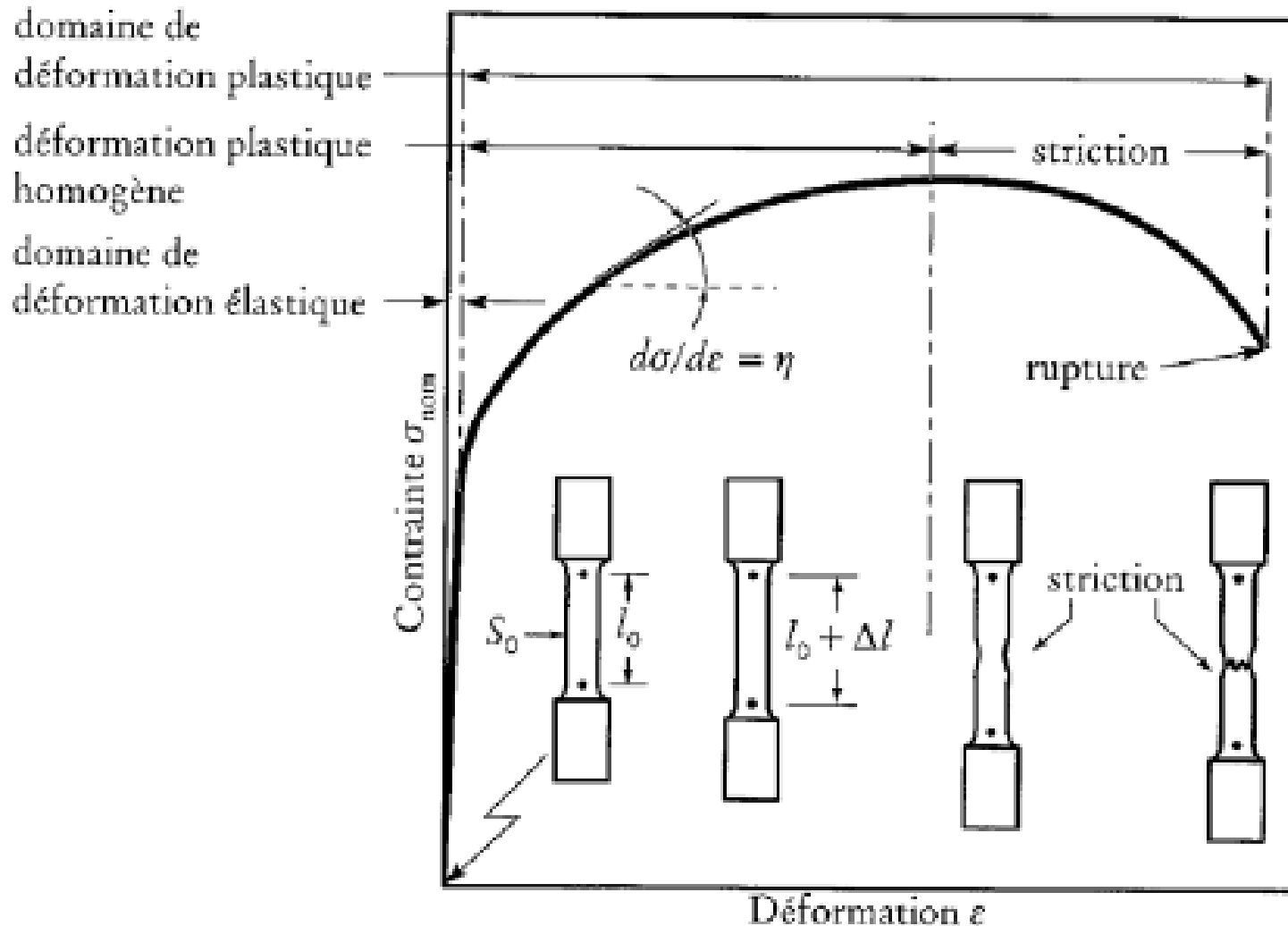


Figure 1.9 Représentation d'une courbe de traction (matériau ductile).

Essai de traction

Courbes de traction

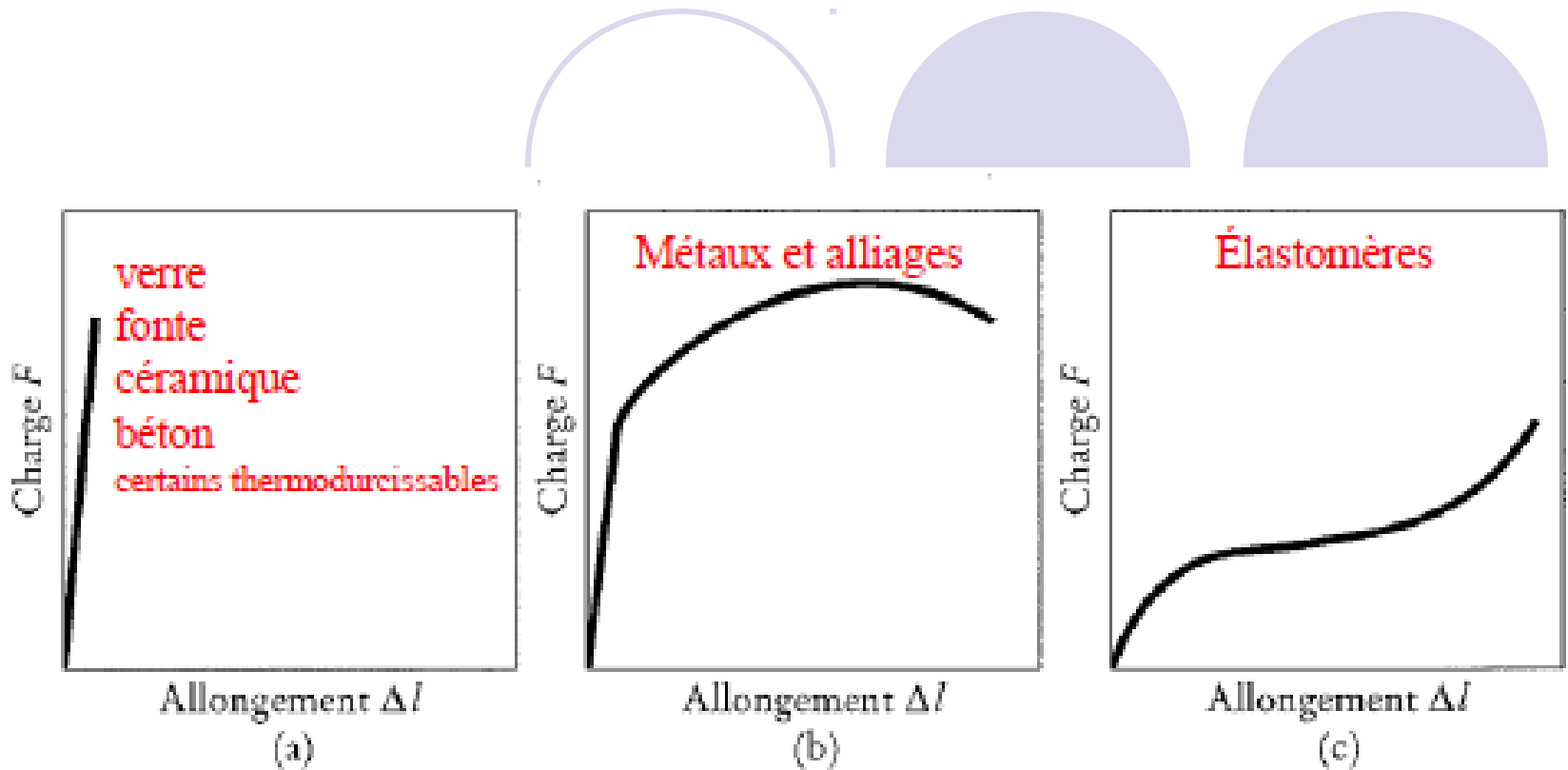


Figure 1.8 Comportements caractéristiques en traction : a) comportement fragile ; b) comportement ductile ; c) comportement élastique non linéaire.

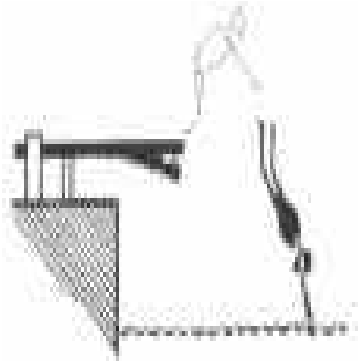
Élasticité

- **Propriété des matériaux qui reprennent leur forme initiale après que la force qui les déformait ait cessé d'agir.**
- Dans certaines techniques de mise en forme (cintrage ou pliage), il est important de considérer le retour élastique (Springback) afin d'obtenir une pièce de la forme souhaitée

Essai de traction

Élasticité

Élasticité



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.

La rigidité (Module d'élasticité E)

- Capacité des matériaux à subir une charge sans une déformation excessive. Plus le métal est rigide, plus il est difficile à former.
- E est une mesure de la **rigidité** de matériau.
- E: = Pente de la courbe σ/ϵ dans le domaine élastique
- Les aciers (E=207 GPa) sont 3 fois plus rigides que les alliages d'aluminium (E=70GPa)

La ductilité

- **Qualité des matériaux à être déformé de façon permanente sans se rompre.**
- La ductilité d'un matériau se mesure par son allongement à la rupture (A%) ou par la striction à la rupture (Z%)

Allongement
à la rupture

$$A\% = \frac{L_f - L_0}{L_0} \cdot 100$$

Striction
à la rupture

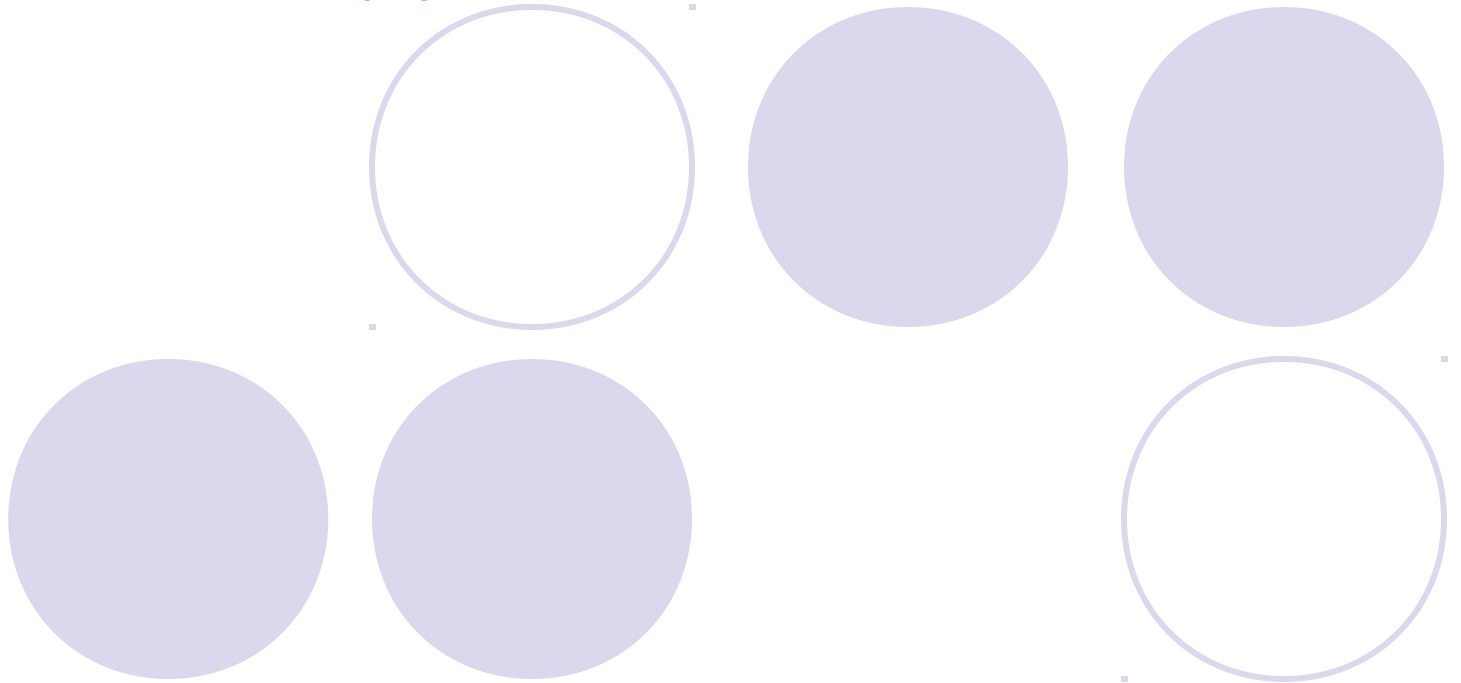
$$Z\% = \frac{S_0 - S_f}{S_0} \cdot 100$$

S_0 (S_f) sections initiale (finale) de l'éprouvette

Essai de traction

Exploitation des résultats de l'essai

Courbe brute: $F=f(\Delta l)$

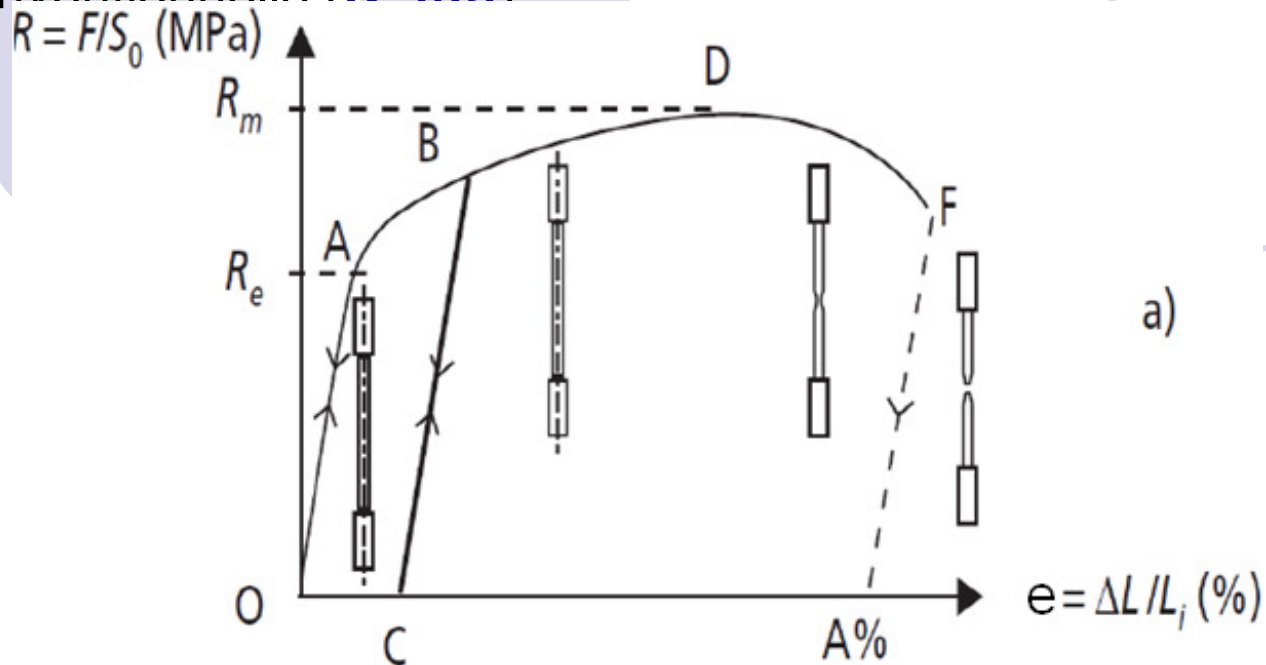


Essai de traction

Exploitation des résultats de l'essai

Courbe conventionnelle

- Afin de pouvoir utiliser les courbes brutes de traction, on doit les modifier pour que **les résultats obtenus soient fonction que de matériau étudié et non de la géométrie de l'éprouvette**.
- Pour ce faire, on rapporte la charge $F(N)$ à la section initiale $S_0 (mm^2)$ de l'éprouvette en vue d'obtenir la contrainte conventionnelle $R_i (MPa)$.
- Et on rapporte l'allongement $\Delta L (mm)$ à la longueur initiale, e , pour obtenir la déformation conventionnelle ($R=f(e)$)



Essai de traction

Exploitation des résultats de l'essai

Courbe rationnelle de traction

- C'est la courbe obtenue en rapportant la force à la **section minimale instantanée S** , pour raisonner en termes de contrainte vraie $\sigma = F/S$,
- et en rapportant l'allongement à la longueur instantanée pour raisonner en termes de déformation rationnelle $\varepsilon = \Delta l/l$.

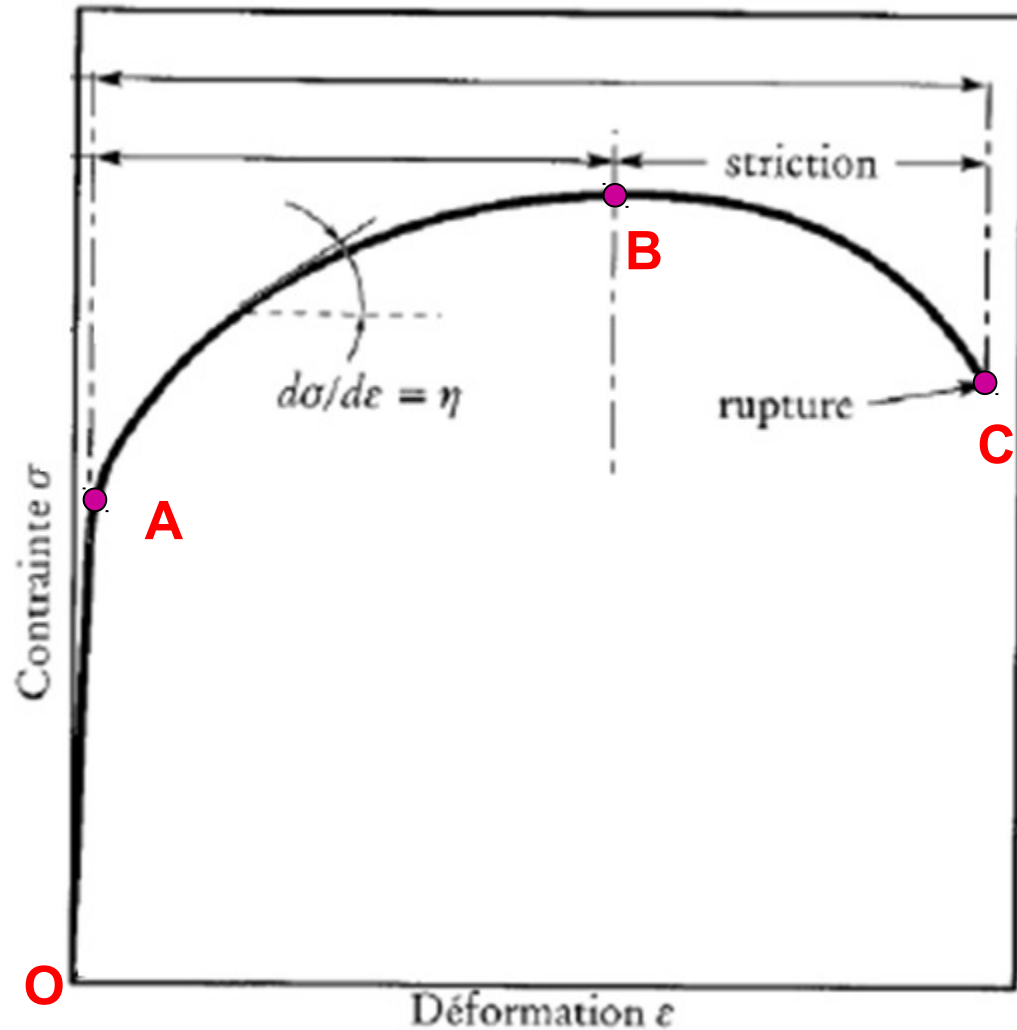
Exploitation des résultats de l'essai

LOI DE COMPORTEMENT ($\sigma=f(\varepsilon)$)

1) Zone OA:

2) Zone AB : Ecrouissage.

La portion d'allure parabolique de la courbe rationnelle peut être mise sous forme mathématique :



Exploitation des résultats de l'essai

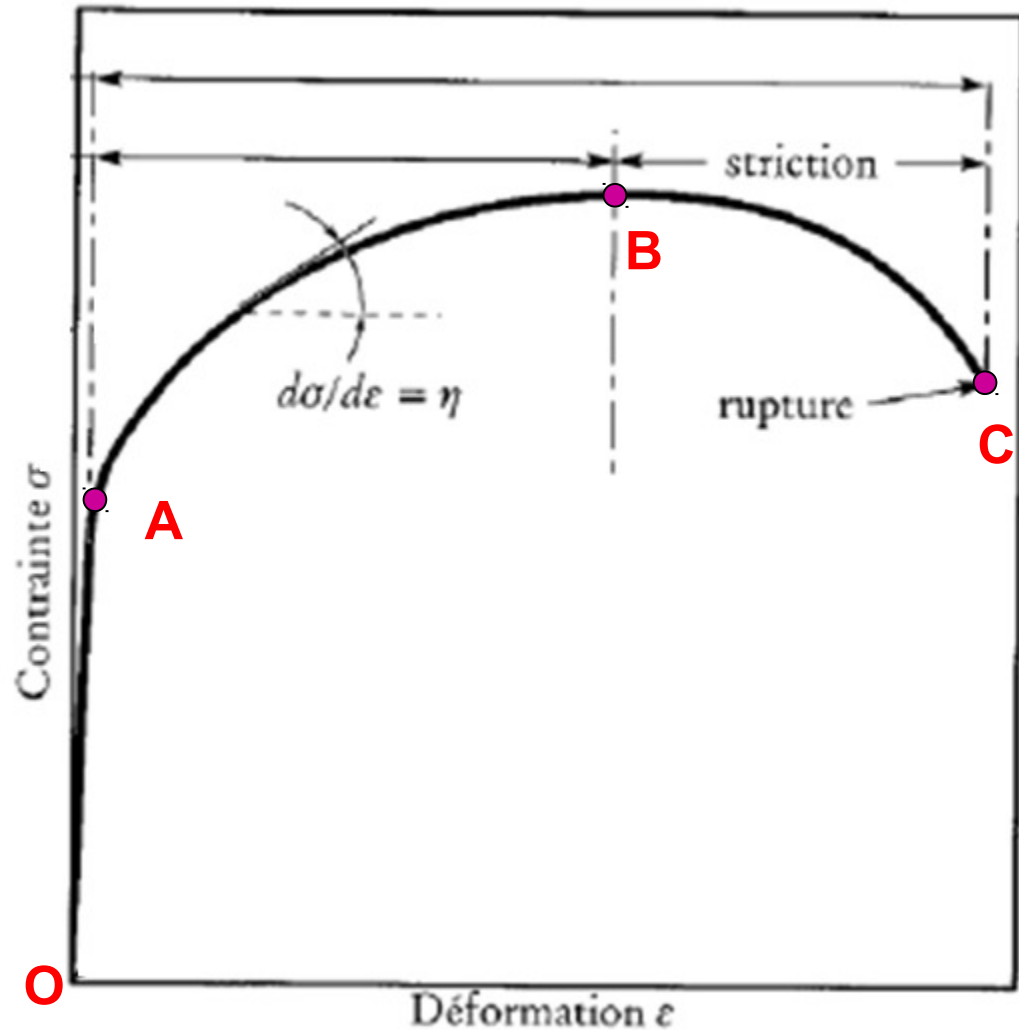
LOI DE COMPORTEMENT ($\sigma=f(\varepsilon)$)

3) Zone BC : Concentration de contraintes

Au-delà du point B jusqu'à la rupture en C, l'existence de la striction complique le calcul de la contrainte vraie car à faut tenir compte de l'effet de concentration de contrainte ; la formule de correction la plus utilisée est celle de BRIDGMANN .

$$\sigma_{cor} = \sigma \left(1 + \frac{2R}{a} \right) \ln \left(1 + \frac{a}{R} \right)$$

a étant le rayon de la section minimale,
R le rayon de courbure



Essai de traction

Exploitation des résultats de l'essai

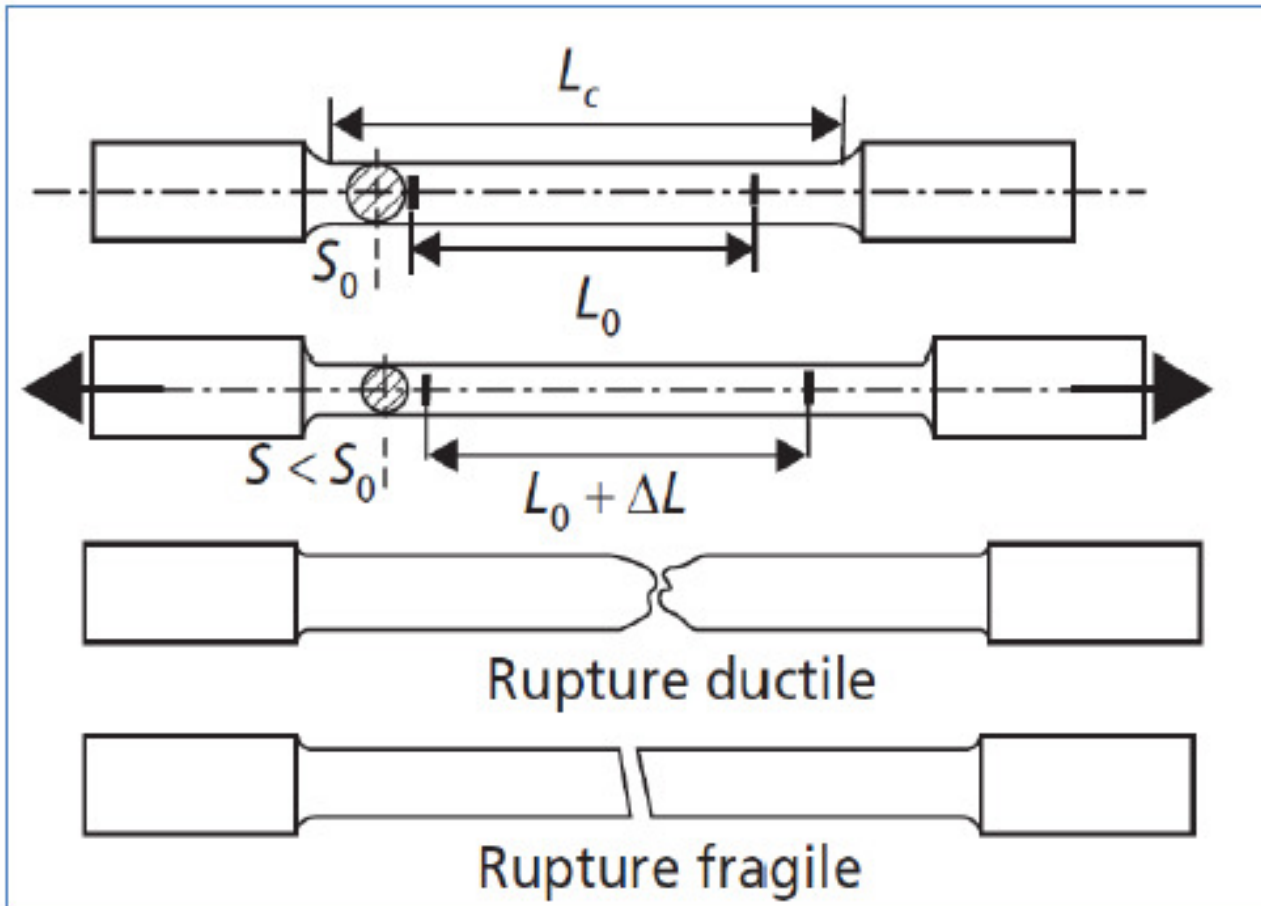
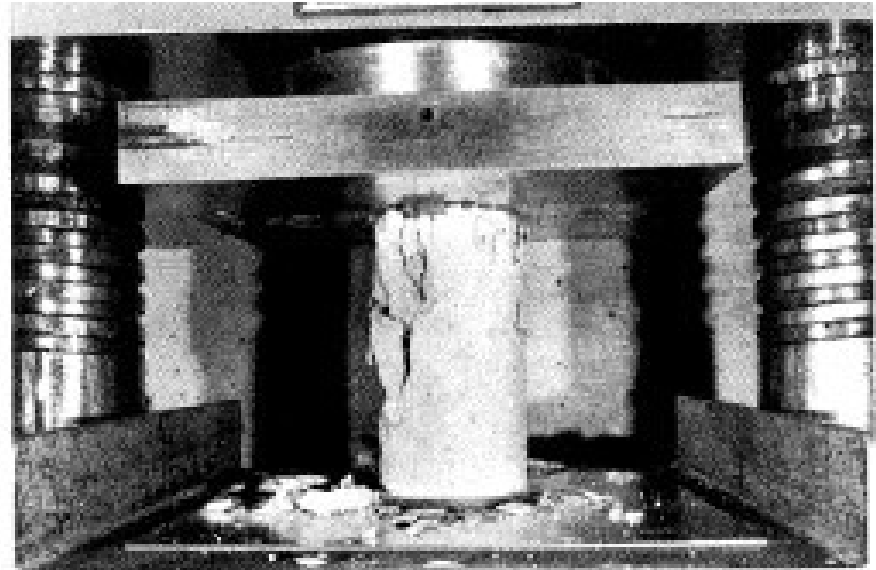


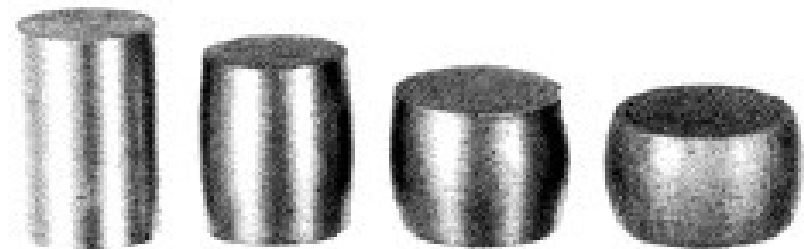
Fig. 1.7. Schéma d'une éprouvette de traction cylindrique et de son évolution en cours d'essai.

Essai de compression

- Déformation de l'échantillon durant la compression
- Ne permet pas d'atteindre la rupture des matériaux ductiles
- Souvent utilisé pour déterminer la résistance à la rupture des matériaux fragiles



(a)



(b)

Essai de flexion

- Ne permet pas d'atteindre la rupture des matériaux ductiles mais détermination de E (par mesure de la flèche)

→ Très utilisé en **contrôle qualité**

- **Détermination de la contrainte à la rupture des matériaux fragiles.**

- Avantages : simple et l'échantillon nécessite peu d'usinage

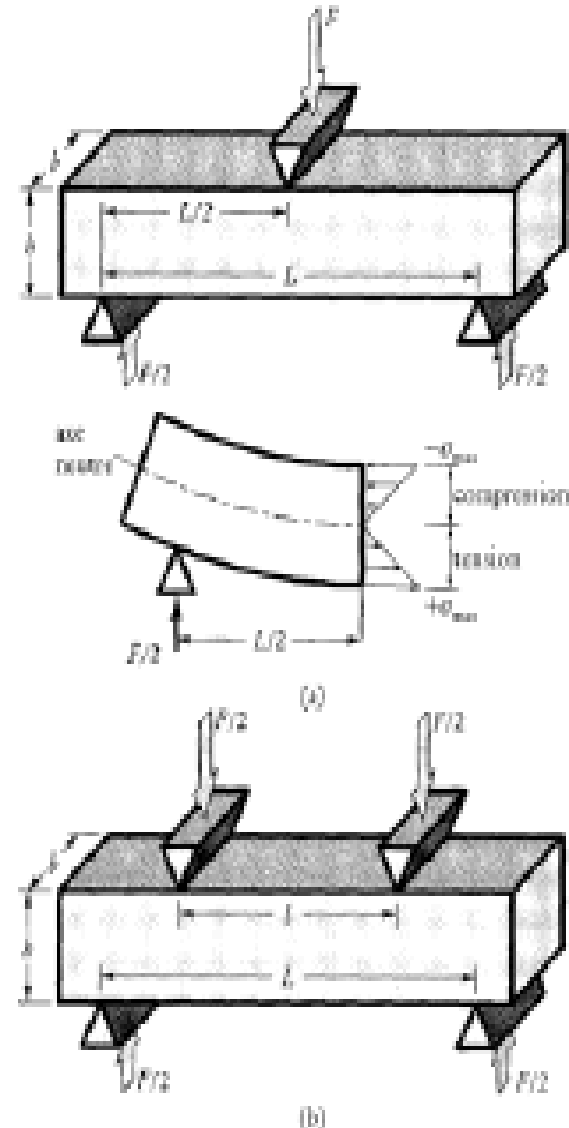
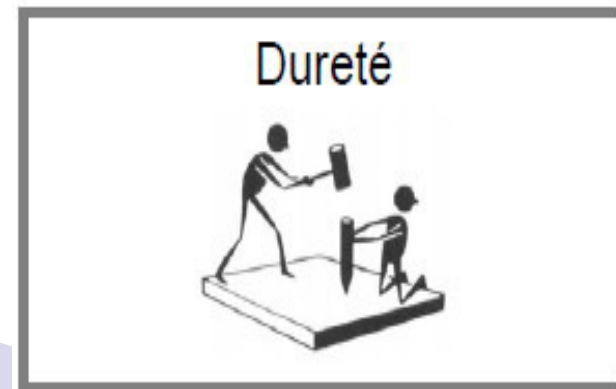


Figure 1.15 a) Représentation schématique de l'essai de flexion à trois points et répartition des contraintes ; b) essai de flexion à quatre points.

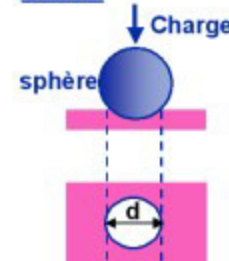
Essai de dureté

La dureté (Hardness)

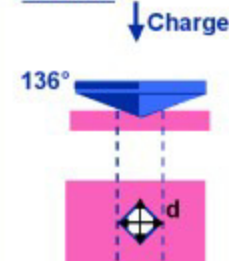
- La dureté est la mesure de la résistance d'un matériau à la pénétration.
- La pénétration met en jeu:
 - les déformations élastique et plastique.
 - Le frottement entre le pénétrateur et le matériau.
 - La géométrie du pénétrateur.
 - la charge appliquée.



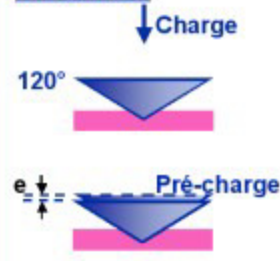
Brinell:



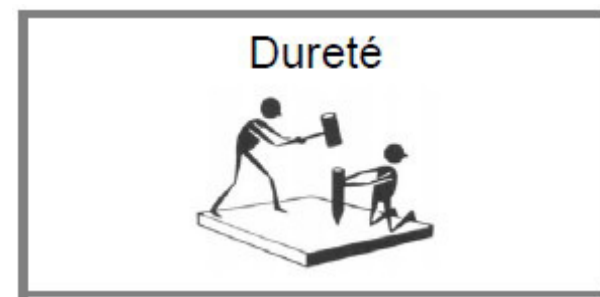
Vickers:



Rockwell C:



PRINCIPE



- Il consiste à imprimer dans la pièce à essayer une bille **en acier ou en carbures de tungstène** de diamètre D (mm) sous une charge F (N), et à mesurer le diamètre d de l'empreinte résiduelle après retrait de la charge.
- La charge d'essai F (N) est choisie dans une gamme normalisée adaptée au diamètre de l'indenteur et au matériau testé.

$$HBW = \frac{F}{d^2}$$

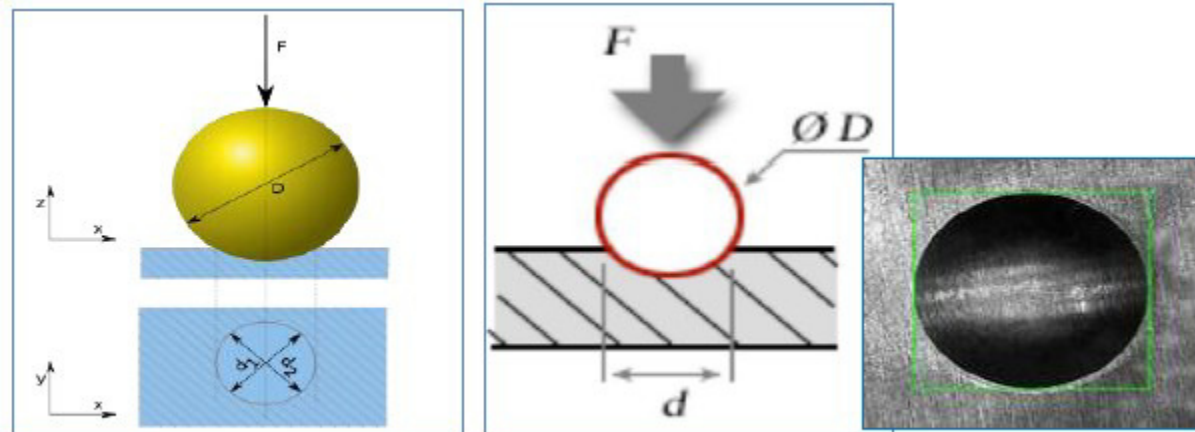
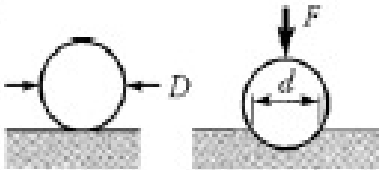
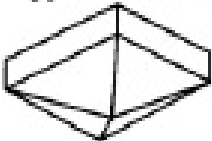
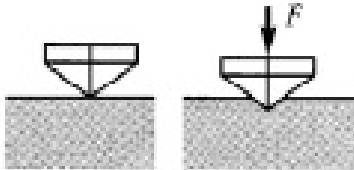
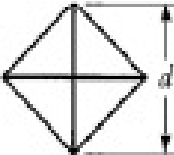

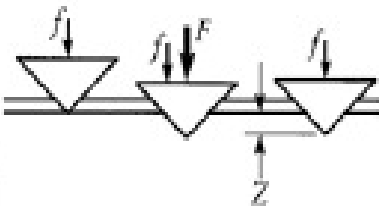


Fig.1.12. Principe de l'essai Brinell et empreinte typique de l'essai



Tableau 1.1 Caractéristiques des principales méthodes de mesure de la dureté

Méthode d'essai	Géométrie du pénétrateur	Charge F	Principe de l'essai	Paramètre mesuré	Dureté
Brinell	Bille d'acier dur ou de carbure (10 mm de diam.)	500 ou 3000 kgf		Diamètre de l'empreinte (d)	$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Pyramide de diamant à base carrée; angle entre les faces opposées: 136° 	5 à 100 kgf (microdureté); 5 à 1000 gf		Diagonale de l'empreinte (d) 	$HV = \frac{1,854 F}{d^2}$
Rockwell C	Cône de diamant d'angle au sommet de 120° 	Précharge f de 10 kgf; $F = 150$ kgf		Profondeur de l'empreinte (Z)	$HRC = f(Z)$
Rockwell B	Bille d'acier dur (1,59 mm de diam.)	Précharge f de 10 kgf; $F = 100$ kgf	Même principe que Rockwell C	Profondeur de l'empreinte (Z)	$HRB = f(Z)$



Correspondance entre échelles de dureté

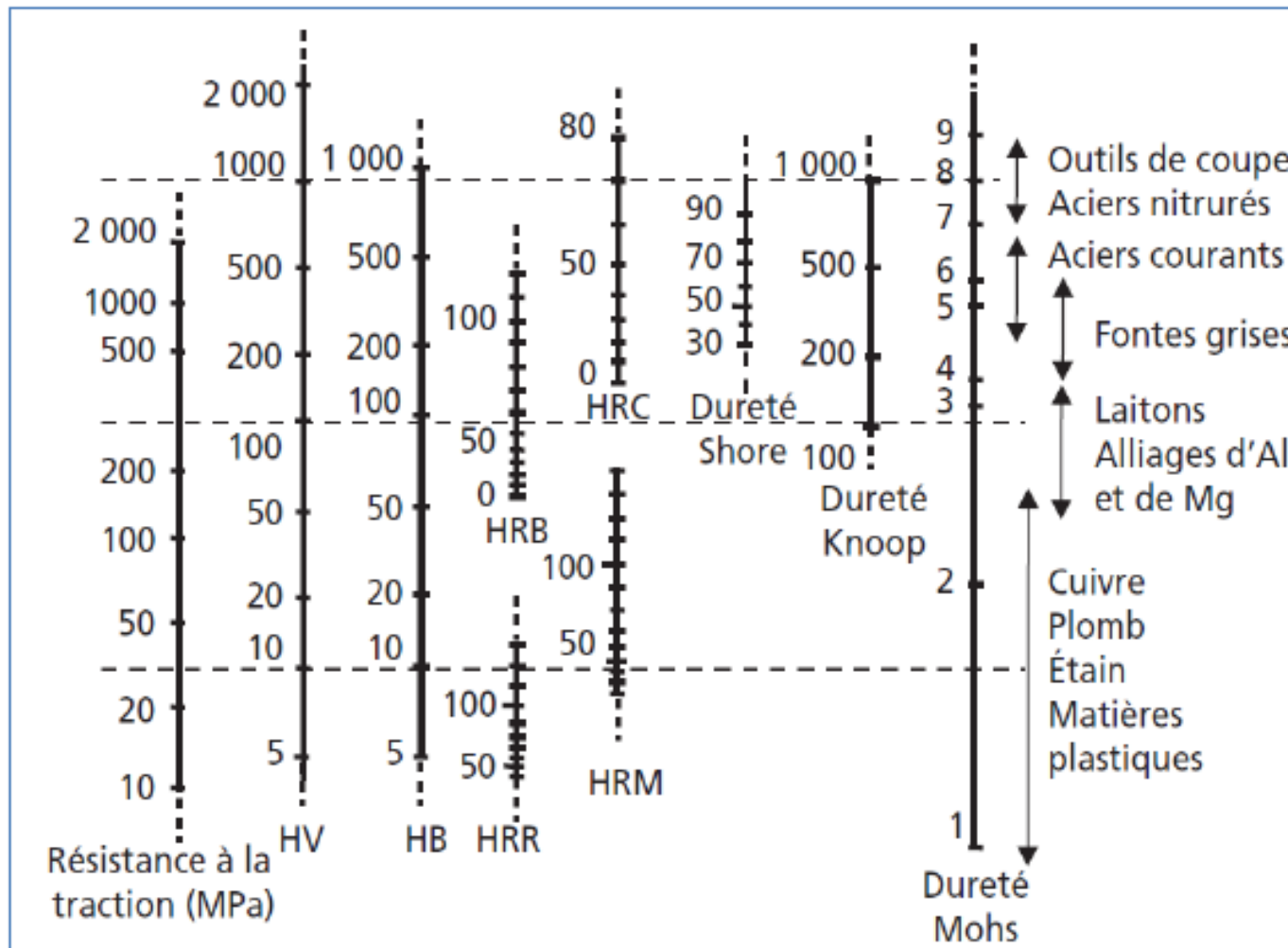
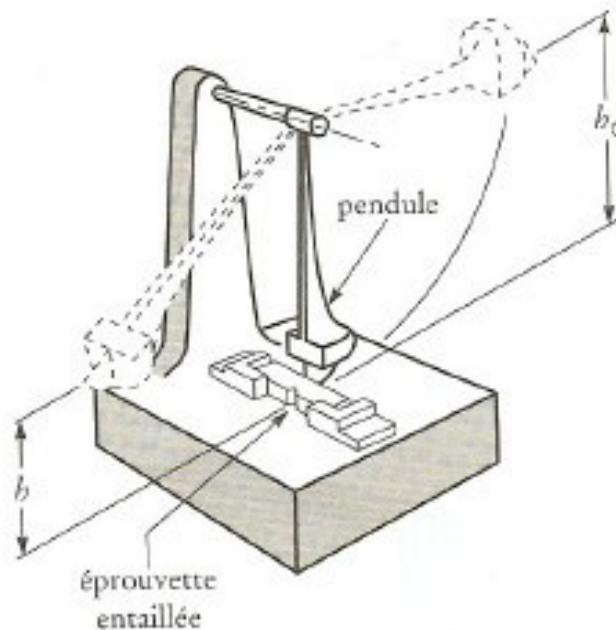


Fig. 1.17. Correspondances entre les échelles de dureté

Essai de résilience

- Le principe de l'essai **consiste** du mouton pendule **une éprouvette entaillée** reposant sur deux appuis.
- On détermine l'énergie absorbée caractérisant la résistance aux chocs du matériau métallique essayé.
- La résistance aux chocs, donc **l'énergie nécessaire pour produire la rupture de l'éprouvette**, exprimée en joule par centimètre carré.



$$\text{Résilience} = \frac{\text{Energie absorbée par la rupture (J)}}{\text{Section au droit de l'entaille (Cm}^2\text{)}}$$

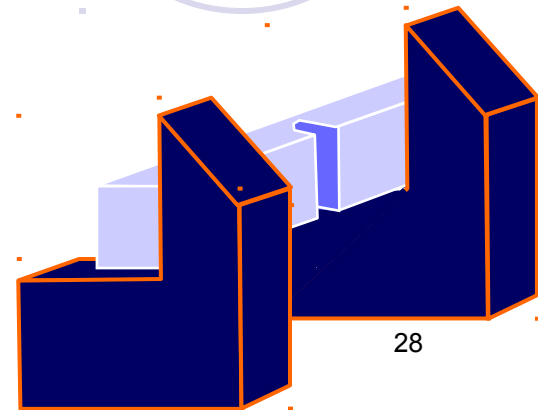


Figure 4.48 Représentation schématique de l'essai Charpy.

Essai de résilience

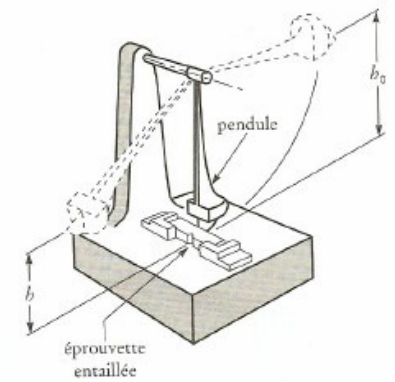


Figure 4.48 Représentation schématique de l'essai Charpy.

Fragilité



Un métal fragile est un métal qui se rompt au lieu de se déformer. 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 ou impact.

Ductilité

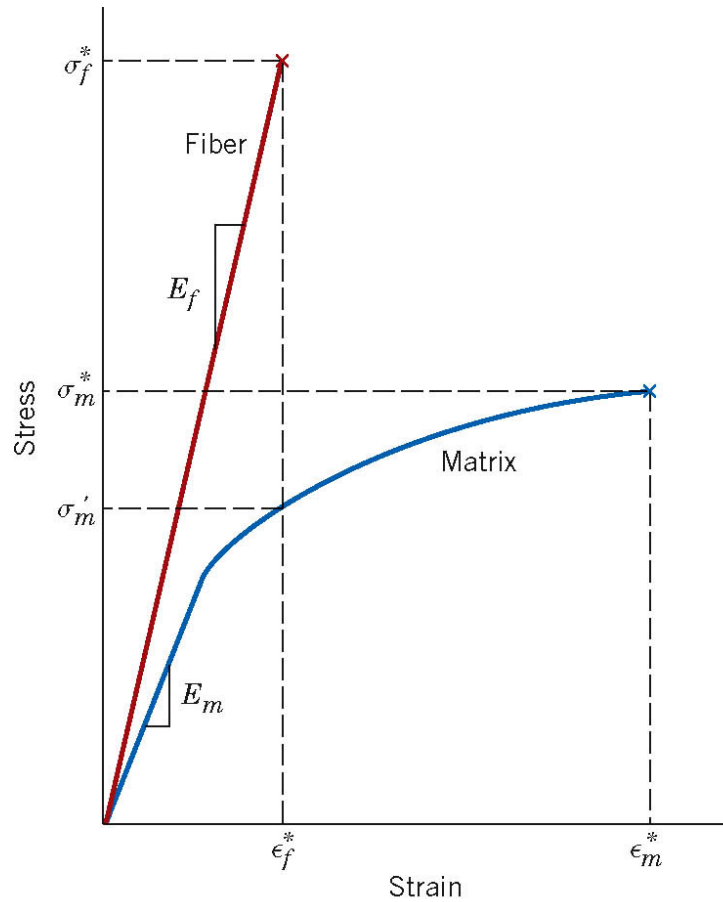


Un matériau est dit ductile lorsqu'il peut être étiré, allongé ou déformé sans se rompre. Des métaux comme l'or, le cuivre et l'acier doux sont ductiles.

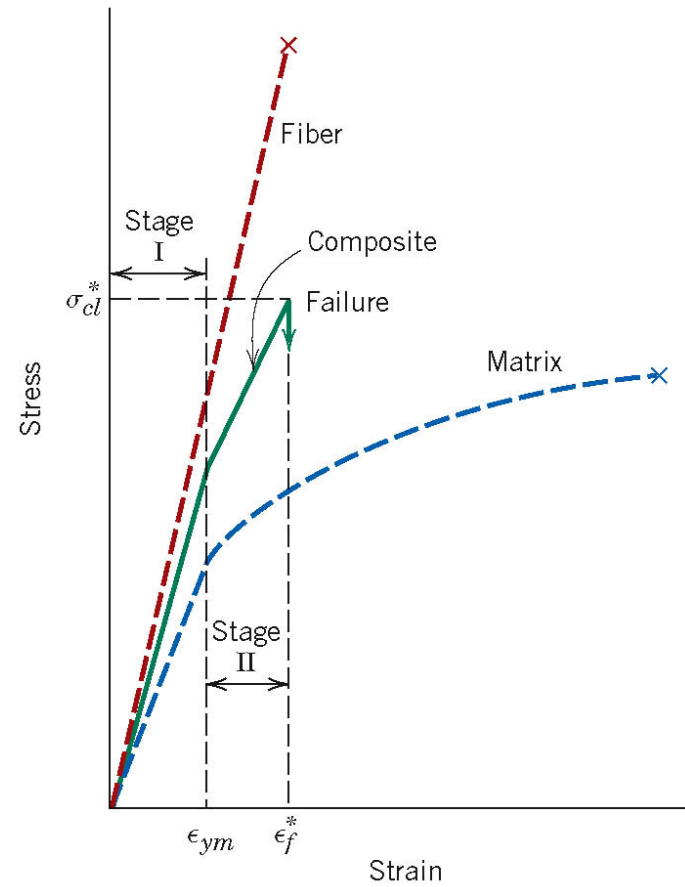
Application

1

Behavior under load for Fibers & Matrix



(a)



(b)

Résumé

Essais	Caractéristiques	propriétés
Traction	R_e, R_m	
	E	
	A%	
Dureté	HB, HV, HRB, HRC	
Résilience	KCV, KCU	
Fatigue	σ_D	