



# Essais mécaniques



Renaud Costadoat  
Lycée Dorian



**DORIAN**



## Introduction

## Savoir

Vous êtes capables :

- de déterminer un cahier des charges.

## Problematique

Vous devez être capables :

- de déterminer les caractéristiques d'un matériaux qui répondent à un besoin,
- de connaître les moyens de déterminer les caractéristiques d'un matériau.

## Propriétés et définitions

**L'élasticité:** Aptitude d'un corps de subir des déformations temporaires sous charge.

**La ténacité:** Aptitude d'un corps de résister à la déformation ou à la rupture sous un effort continu.

**La dureté:** Aptitude d'un corps de résister à la pénétration d'un autre corps et de résister à l'usure.

**La résilience:** Aptitude à subir des efforts brusques ou des chocs sans rupture.

**L'endurance:** Aptitude d'un corps de subir des efforts variables et répétés en grandeur et direction.

**La plasticité:** Aptitude d'un corps à la déformation sans tension ni rupture.

**La ductilité:** Aptitude d'un corps de pouvoir être étiré sous forme de fils minces.

**La fluidité:** Aptitude d'un corps d'être porté à fusion et de remplir facilement le moule dans lequel il est coulé (pièces de fonderie).

## Propriétés et définitions

**Homogénéité:** Un matériau est homogène s'il possède, en tous points, les mêmes propriétés chimiques et physiques.

**Isotropie:** Un matériau est isotrope s'il présente les mêmes caractéristiques mécaniques dans toutes les directions de la matière.

**Contraintes (unités: N/mm<sup>2</sup> ou MPa):** Elles caractérisent par des indications chiffrées les efforts de cohésion qui existent entre les grains de matières. Elles peuvent être normales ou de tension, ayant pour symbole  $\sigma$  et des contraintes de cisaillement, ayant pour symbole  $\tau$ .

**Déformations:** Elles résultent et varient avec les charges appliquées sur les objets. Elles sont mises en évidence par la variation des dimensions, et peuvent être élastiques ou plastiques. Ex: allongement, raccourcissement, fléchissement, torsion, glissement,...

## Les essais mécaniques

- Les **essais mécaniques** sont des **expériences** dont le but est de caractériser les **lois de comportements** des matériaux (mécanique des milieux continus).
- La loi de comportement établit une relation entre les **contraintes** (pression=force/surface) et les **déformations** (allongement unitaire sans dimensions).
  - ▶ *Remarque: Il ne faut pas confondre une déformation avec un déplacement ou une dilatation.*
- Cependant, la déformation d'une pièce dépend de la forme de la pièce et de la manière dont sont exercés les efforts extérieurs sur cette pièce. Il faut donc normaliser les essais. Des normes définissent donc :
  - ▶ quelle est la **forme** de la pièce d'essai dont on teste le matériau, on parle alors **d'éprouvette normalisée**,
  - ▶ comment sont exercés les **efforts** sur l'éprouvette, on parle alors **d'essai normalisé**.

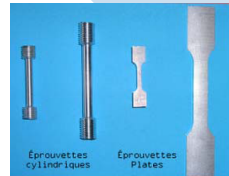
## Essai de traction

Une **éprouvette** est tenue en deux points. Elle est étirée à vitesse constante, et on relève la force de traction nécessaire en fonction de l'allongement. Ces essais permettent de tracer une courbe dite de traction à partir de laquelle les caractéristiques suivantes peuvent être déduites :

- la déformation élastique en fonction de la force appliquée d'où on peut déduire, connaissant les dimensions de l'éprouvette, le **module d'Young**,
- la **limite élastique** souvent notée  $R_e$ , ou bien la limite d'élasticité à 0,2%  $R_{e0,2}$
- la **déformation plastique**
- la **résistance à la traction** ou tension de rupture souvent notée  $R_m$ , qui est la contrainte maximale atteinte en cours d'essais.

L'éprouvette peut être un barreau cylindrique (système symétrique) ou plate (étude d'une face).

Les extrémités de l'éprouvette sont élargies, avec un congé, afin d'être sûr que la déformation plastique et la rupture auront lieu dans la partie centrale de l'éprouvette.



## Déroulement de l'essai de traction

1. Suppression du jeu grâce à une légère pré-charge
2. Etirement de l'éprouvette par un déplacement de la travée
  - ▶ Mesures : effort généré par ce déplacement
  - ▶ Remarque: le mouvement peut se faire par un système de vis sans fin ou un piston hydraulique, l'effort se mesure par un capteur d'effort.
3. Durant le déplacement de la travée
  - ▶ Calcul: Déformation conventionnelle  $\epsilon_c = \frac{\Delta l}{l_0}$  à partir du déplacement et contrainte conventionnelle  $\sigma_c = R = \frac{F}{S_0}$  en divisant la force par la section initiale  $S_0$  à partir de la force.
4. L'essai s'arrête à la rupture de l'éprouvette.

Le diagramme ainsi obtenu est appelé « Diagramme conventionnel ».

A partir de ces relevés et en prenant en compte la variation de la section  $S$ , il est possible de tracer le « Diagramme rationnel » affichant  $\sigma_r = \frac{F}{S} = \sigma_c \cdot (1 + \epsilon_c)$  en fonction de

$$\epsilon_r = \int_{L_0}^L \frac{dl}{l} = \ln(1 + \epsilon_c).$$

## Caractéristiques de l'essai de traction

Definition

- **Re: limite d'élasticité (MPa),**
- Fe: charge à la limite d'élasticité (N),
- S0: section initiale ( $mm^2$ ).

$$Re = \frac{Fe}{S_0}$$

Definition

- **Rm: limite de rupture (MPa),**
- Fm: charge à la limite de rupture (N),
- S0: section initiale ( $mm^2$ ).

$$Rm = \frac{Fm}{S_0}$$

Definition

- **A%: L'allongement pour cent après rupture,**
- Lu: longueur de l'éprouvette après rupture (mm),
- L0: longueur initiale de l'éprouvette (mm).

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



## Caractéristiques de l'essai de traction

Definition

- **Z: coefficient de striction,**
- **$S_u$ :** section minimale de l'éprouvette après rupture ( $mm^2$ ),
- **$S_0$ :** section initiale de l'éprouvette ( $mm^2$ ).

Coefficient:  $Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100$

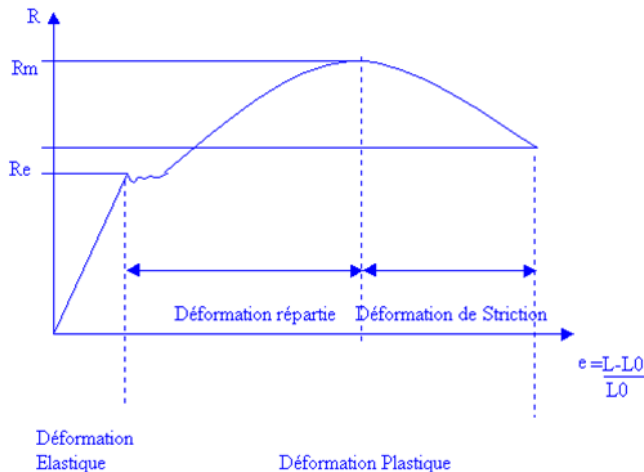
Allongement:  $Z_u = \frac{S_0 - S_u}{S_u} \cdot 100$

Definition

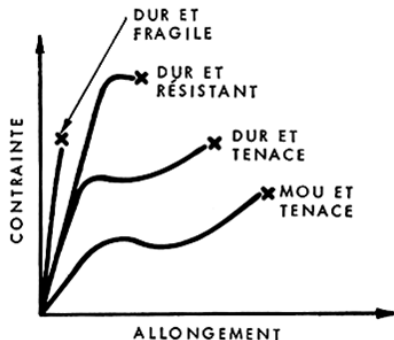
- **E: module d'Young,**
- **$\sigma_c$ :** contrainte conventionnelle (MPa),
- **$\epsilon_c$ :** déformation conventionnelle (1).

$\sigma_c = E \cdot \epsilon_c$

## Diagramme conventionnel de traction



## Diagramme conventionnel de traction



## Diagramme conventionnel de traction

### ● Ductilité

La ductilité est déterminée à partir du comportement durant la striction

- ▶ Si  $Z$  est grand ( $> 0,5$ ) alors, le matériau est ductile,
- ▶ Si  $Z$  est faible ( $< 0,1$ ) alors, le matériau est semi-fragile,
- ▶ Pour les matériaux fragiles, la rupture a lieu dans le domaine élastique

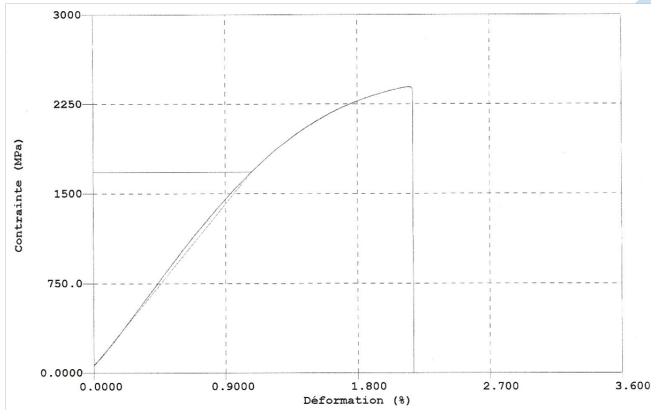
### ● Ténacité

La ténacité peut être définie comme le travail nécessaire par unité de volume pour provoquer la rupture.

$$\frac{dW_e}{dv} = \int_0^{\epsilon_r} \sigma \cdot d\epsilon$$

*Remarque:* il s'agit de l'aire sous la courbe rationnelle jusqu'au point de rupture.

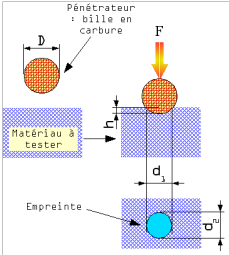
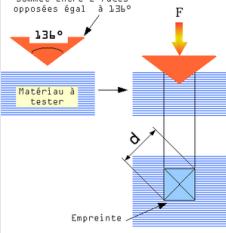
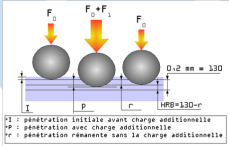
## Exemple essai de traction






## Essai de dureté

- La **dureté** d'un matériau définit la résistance qu'oppose une surface de l'échantillon à la pénétration d'un corps plus dur, par exemple la bille ou la pointe d'un duromètre. Des essais de rebondissement ou de pénétration sont utilisés pour caractériser la dureté des métaux, des matières plastiques et des élastomères.
- Il existe différents types d'essais pour caractériser la dureté. Seuls les essais de pénétration vont être présentés:
  1. Brinell (NF EN 10003-1 à 3),
  2. Vickers,
  3. Rockwell (NF EN 10109-1 à 3).

## Essai de dureté

Brinell	Vickers	Rockwell
 <p>Pénétrateur : bille en carbure</p> <p>Matériau à tester</p> <p>Empreinte</p> $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$ $h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$ $HBS = HBW = \frac{0,102 \cdot 2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	<p>Pénétrateur : Pyramide en diamant de base carrée et d'angle au sommet entre 2 faces opposées égal à 136°</p>  <p>Matériau à tester</p> <p>Empreinte</p> $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$ $HV = 0,189 \cdot \frac{F}{d^2}$	 <p> <math>F_0</math>  <math>F_0 + F_1</math>  <math>F_0</math> </p> <p>0,2 mm = 130</p> <p>HRB = 130 - r</p> <p> <i>I</i> : pénétration initiale avant charge additionnelle  <i>P</i> : pénétration avec charge additionnelle  <i>r</i> : pénétration résiduelle sans la charge additionnelle   </p> $HRO = N - \frac{h}{S}$

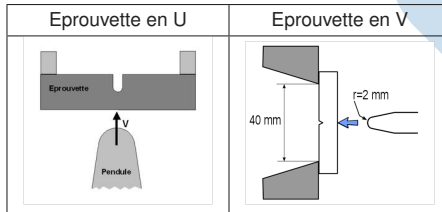
## Essai de dureté

Brinell	Vickers	Rockwell
 <p>A close-up photograph of a Brinell hardness testing machine. It shows a large, dark, conical indenter tip positioned above a metallic sample. The sample has a series of V-shaped indentations on its surface, demonstrating the results of previous tests.</p>	 <p>A photograph of a Vickers hardness testing machine. It features a microscope-like eyepiece at the top, used for measuring the size of the indentation. The machine is mounted on a base with control buttons and is positioned on a workbench.</p>	 <p>A photograph of two Rockwell hardness testing machines. These machines are tall, vertical units with a large circular scale at the top for reading the hardness value. They are placed on a wooden surface against a wood-paneled wall.</p>



## Essai de résilience

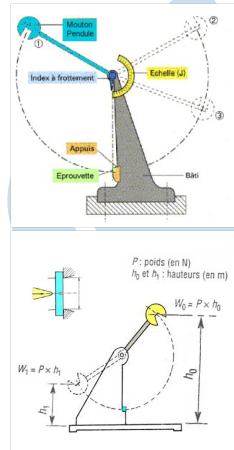
- La connaissance des caractéristiques mécaniques déduites de l'essai de traction peut être insuffisante: des ruptures peuvent être obtenues en dessous de la limite élastique.
- Les paramètres de ténacité déterminés par l'essai de traction n'ont plus de sens lorsque la charge s'applique très rapidement, par « choc » ( $t_{charge} < 1/100s$ ),
- La résistance au choc ou résilience est caractérisée par le quotient de l'énergie nécessaire pour rompre l'éprouvette en un seul coup par l'aire de la section rompue.



## Déroulement de l'essai de résilience

1. Le couteau est écarté de la verticale à une hauteur correspondant à une énergie de départ  $W_0 = 300\text{J}$ ,
2. Le couteau est libéré. Dans sa chute, en passant à la verticale, il brise l'éprouvette,
3. La mesure de la hauteur à laquelle remonte le pendule permet de calculer l'énergie non absorbée  $W_1$ ,
4. L'énergie absorbée est alors  

$$W = W_0 - W_1 = W = P(h_0 - h_1)$$

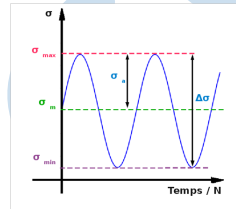


## Essai de fatigue

- Un matériaux métallique soumis à des cycles répétés d'efforts subit des modifications dans ses microstructures.
- Une pièce ou une structure soumise à des contraintes cycliques (millions de cycles) peut rompre sous des sollicitations inférieures à la charge maximale  $R_m$  ou bien souvent inférieure à la limite élastique  $R_e$ ,
- Un essai supplémentaire doit alors être utilisé, il s'agit de l'essai de fatigue.

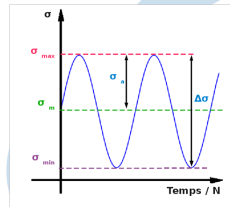
## Déroulement de l'essai de fatigue

- L'essai consiste à soumettre une série d'éprouvettes à des cycles répétitifs de sollicitations.
- Plusieurs types d'essais de fatigues peuvent être distingués selon le type de sollicitation à savoir :
  - ▶ fatigue en traction-compression,
  - ▶ fatigue en torsions alternées,
  - ▶ fatigue en flexion.
- Généralement les sollicitations sont appliquées d'une façon sinusoïdale en fonction du temps.
- Le nombre de cycles  $N$ , vaut  $N_f$  à la rupture.



## Sollicitations de fatigue

- $\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$ ,
- $\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$ ,
- $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$ ,
- $R_\sigma = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ .

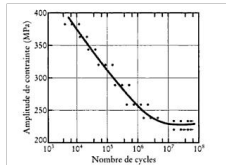


Contraintes:

Alternées symétriques	$R_\sigma = -1$	$\sigma_{max} = -\sigma_{min}$	$\sigma_m = 0$
Alternées dissymétriques	$-1 < R_\sigma < 0$	$\sigma_{max} = -\sigma_{min}$	$0 < \sigma_m < \sigma_a, \sigma_{min} < 0$
Répétés	$R_\sigma = 0$	$\sigma_m = \sigma_a$	$\sigma_{min} = 0$
Ondulées	$R_\sigma > 0$	$\sigma_m > \sigma_a$	$\sigma_{min} > 0$

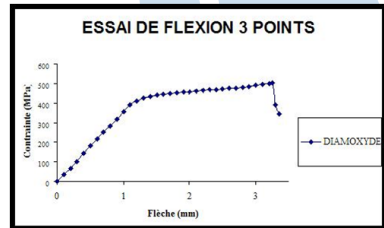
## Courbe de Wöhler

- Elle visualise la tenue d'un matériau pour un mode de sollicitation donné. Elle représente la relation expérimentale entre  $\sigma_{max}$  et  $N_f$ . La courbe de Wöhler correspond à la valeur médiane de N (50% de survie à une contrainte donnée).
- Courbe de Wöhler d'un acier doux:



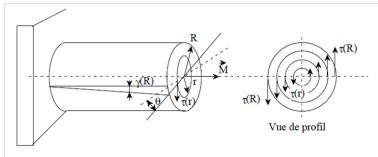
## Essai de flexion

- L'essai de flexion 3 points décrit dans l'ISO 178 et l'ASTM D 790 représente les méthodes de caractérisation classiques pour les plastiques rigides et semi-rigides.
- Les résultats typiques incluent le Module de Young (module de flexion), la contrainte à l'allongement 3,5% de même que les contraintes et allongements sur le point d'élasticité et à la rupture de l'éprouvette.



## Essai de torsion

- Il permet de caractériser le comportement d'un matériau soumis à une charge de torsion.
- Les résultats de l'essai de torsion sont utilisés pour tracer une courbe de contrainte/déformation.
- Les propriétés de cisaillement sont souvent déterminées par un essai de torsion.
- Caractéristiques
  - ▶ E: Module d'Young
  - ▶  $\nu$ : Coefficient de Poisson,
  - ▶ G: Module de Cisaillement,
  - ▶ K: Module d'élasticité isostatique.



$\tau = G \cdot \gamma(r)$
$\gamma(r) = \frac{r}{L} \cdot \theta$
$\nu = \frac{\frac{L_0 - L}{L_0}}{\frac{L_0 - L}{L_0}}$
$E = 2(1 + \nu) \cdot G$
$K = \frac{1}{3} \cdot \frac{E}{(1 - 2 \cdot \nu)}$



## Conclusion

### Savoir

Vous êtes capables :

- de caractériser un matériau avec des propriétés mécaniques spécifiques,
- de présenter l'organisation d'un essai afin de mettre en évidence ces caractéristiques.

### Problématique

Vous devez être capables :

- de connaître d'associer aux matériaux les plus classiques ces propriétés.