

METHODES DE CARACTERISATION MECANQUES DES MATERIAUX

2.1. Introduction

Le choix des matériaux pour une application industrielle donnée exige une connaissance et une maîtrise de ses caractéristiques mécaniques. A ce stade, la caractérisation mécanique des matériaux repose sur l'étude de son comportement vis-à-vis des sollicitations extérieures qui engendrent des contraintes et des déformations. Pour cela, on recourt à un certain nombre d'essais normalisés. Ces derniers, permettent de déterminer les grandeurs physiques caractérisant le comportement mécanique des matériaux testés.

2.2. ESSAI DE TRACTION

2.2.1. Objectifs de l'essai

L'essai de traction est le moyen le plus couramment employé pour caractériser le comportement mécanique d'un matériau sous une sollicitation progressive à vitesse de chargement faible ou modérée. L'essai permet, également, l'étude et l'identification des mécanismes physiques de déformation plastique. Cette dernière, gouverne le processus majeur de mise en forme, par ou sans enlèvement de matière, des matériaux dans la plus part des procédés de fabrication utilisés dans l'industrie mécanique.

2.2.2. Epreuve

Des éprouvettes du matériau concerné, en forme de barreau cylindrique ou prismatique comportant une partie centrale calibrée à section constante S_0 et longueur L_0 raccordée à chaque extrémité à deux têtes de section plus importante, sont fixées dans une machine de traction. L'éprouvette est généralement obtenue par usinage d'un prélèvement d'un produit ou d'une ébauche moulée.

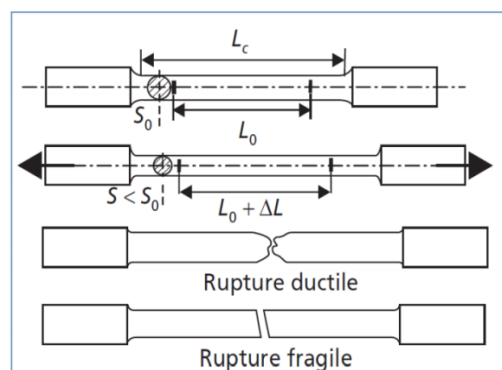


Figure 2.1 Epreuve de traction

2.2.3. Principe de l'essai

Sauf indications contraires, l'essai est effectué à la température ambiante dans les limites comprises entre 10°C et 35°C. Des essais de traction peuvent être effectués à des différentes températures allant de la température cryogénique à celle des hautes températures inférieures à la moitié de la température de fusion pour modéliser le comportement du matériau en fonction de la température.

3.2.4. Machine de traction

La machine se compose d'un bâti fixe et d'une traverse mobile mue par un système hydraulique (pistons) ou par des vis sans fin. L'éprouvette est attachée au bâti d'un côté et à la traverse mobile de l'autre.



Figure 2.2 Machine de traction

3.2.5. Forme classique d'un diagramme de traction :

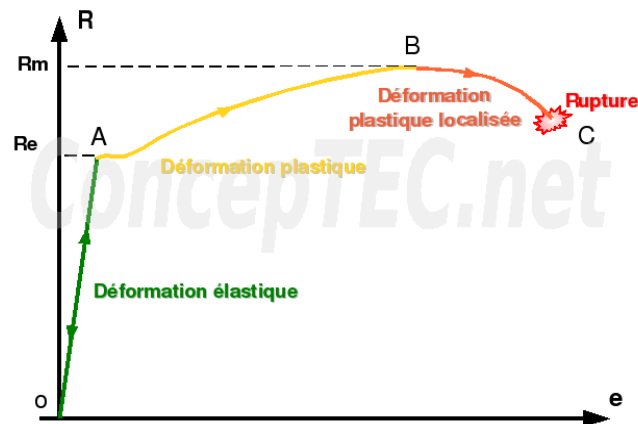


Figure 2.3 Courbe de traction pour les métaux

Le diagramme de traction représente l'évolution de la charge unitaire

$$R = \frac{F}{S}$$

en fonction du taux d'allongement

$$e = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Cette courbe contient diverses régions :

- OA : domaine élastique à déformation réversible $R = E \cdot e$ (le coefficient de proportionnalité est le module d'Young E); le point A marque la limite du domaine élastique;
- AB : domaine de déformation permanente homogène ou de déformation plastique répartie; le point B se situe à charge maximale et au début de la striction ;
- BC : domaine de striction ou de déformation plastique localisée ;
- C : point de rupture de l'éprouvette

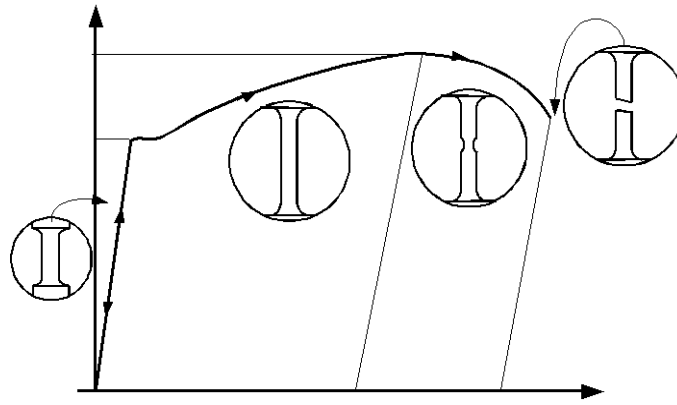


Figure 2.4 Représentation des éprouvettes selon la charge appliquée

- Exemple de courbe de traction pour les céramiques

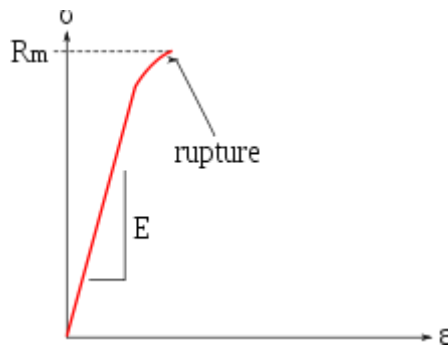


Figure 2.5 Courbe de traction typique pour un matériau fragile

- Exemple de courbe de traction pour les polymères

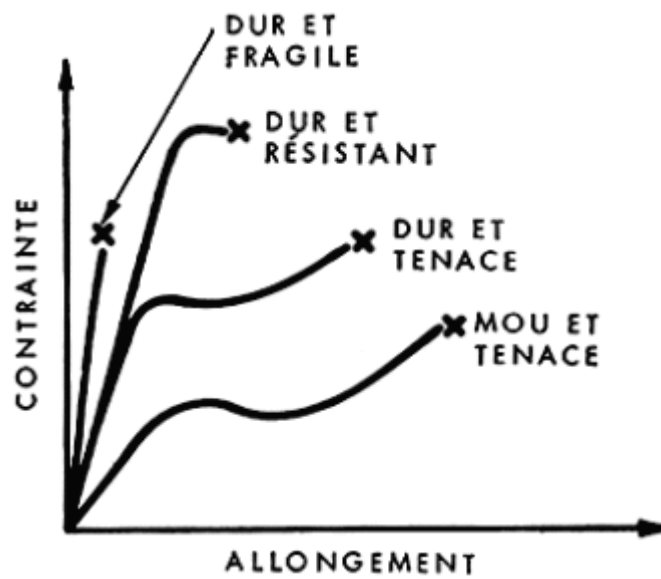


Figure 2.6 Courbes traction-allongement de 4 types de matériaux polymères.

2.3. L'ESSAI DE COMPRESSION

L'essai de compression consiste à soumettre une éprouvette de forme cylindrique, placée entre les plateaux d'une presse, à deux forces axiales opposées. Si le matériau étudié est ductile, la rupture ne peut être atteinte avec ce test. L'essai de compression est surtout utilisé pour déterminer la contrainte de rupture des matériaux fragiles (comme les céramiques) qui sont difficiles à usiner pour un essai de traction.

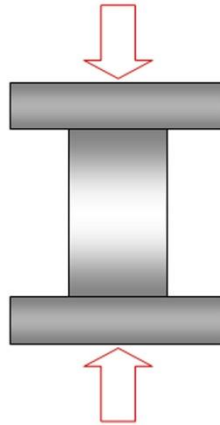


Figure 2.7 Les effort appliqués dans l'essai de compression

2.3.1. Principe

Cet essai consiste à appliquer un effort de compression à un échantillon reposant sur une surface indéformable. Cette sollicitation provoque un écrasement de l'éprouvette. On mesure simultanément les contraintes et déformations aux cours de l'essai. La norme définit entre autre : - La contrainte de rupture - La contrainte au seuil d'écoulement. Pour obtenir des résultats comparatifs en compression il est nécessaire d'employer des éprouvettes de forme, de dimensions et de mode d'obtention identiques, et de les soumettre à essais dans des conditions bien définies de traitement préalable, de température, d'humidité et de vitesse de mise en charge.

2.3.2. Appareillage

La machine d'essai est du type à vitesse de compression constante, elle est constituée de :

- plateau fixe,
- plateau mobile,
- mécanisme d'entraînement de mouvement uniforme en vitesse contrôlée,
- indicateur d'effort,
- indicateur de déformation qui doit permettre à tout instant d'évaluer la distance séparant deux points déterminés de l'éprouvette ou la distance entre les surfaces de contact de la machine.

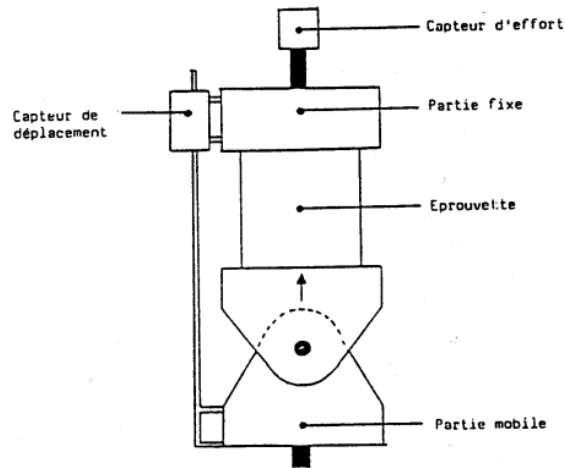


Figure 2.8 Machine de compression

2.3.3. Eprouvette

L'éprouvette doit être constituée d'un cylindre droit, d'un prisme droit ou d'un tube droit. Les extrémités des éprouvettes doivent être parallèles et perpendiculaires à la direction de l'application de l'effort. - Sauf spécification contraire, la hauteur des éprouvettes, en fonction des dimensions de leur section droite, doit être égale à h .

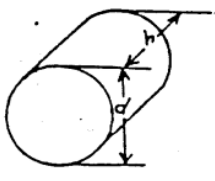
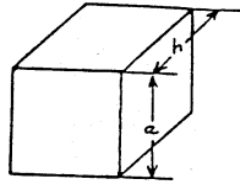
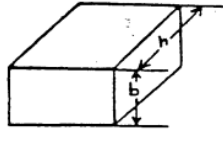
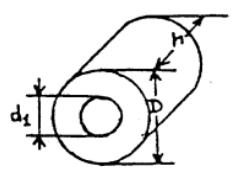
Cylindrique	Prisme carré	Prisme rectangulaire	Tube cylindrique
			
$h = 2,5 \cdot d$	$h = 2,9 \cdot a$	$h = 2,9 \cdot b$	$h = 2,5 \sqrt{D^e + d^2}$

Figure 2.9 Eprouvettes de compression

2.3.4. Mode opératoire de l'essai

1- Les éprouvettes sont conditionnées de 86 à 106 heures à $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ et à $50\% \pm 5\%$ d'humidité relative Sauf spécifications contraires, effectuer l'essai dans la même atmosphère que celle du conditionnement.

2- La vitesse à utiliser est fonction de la hauteur de l'éprouvette selon la relation : $V = 0,3 h$

(V = vitesse d'essai en millimètre par minute, h = hauteur de l'éprouvette en millimètres).

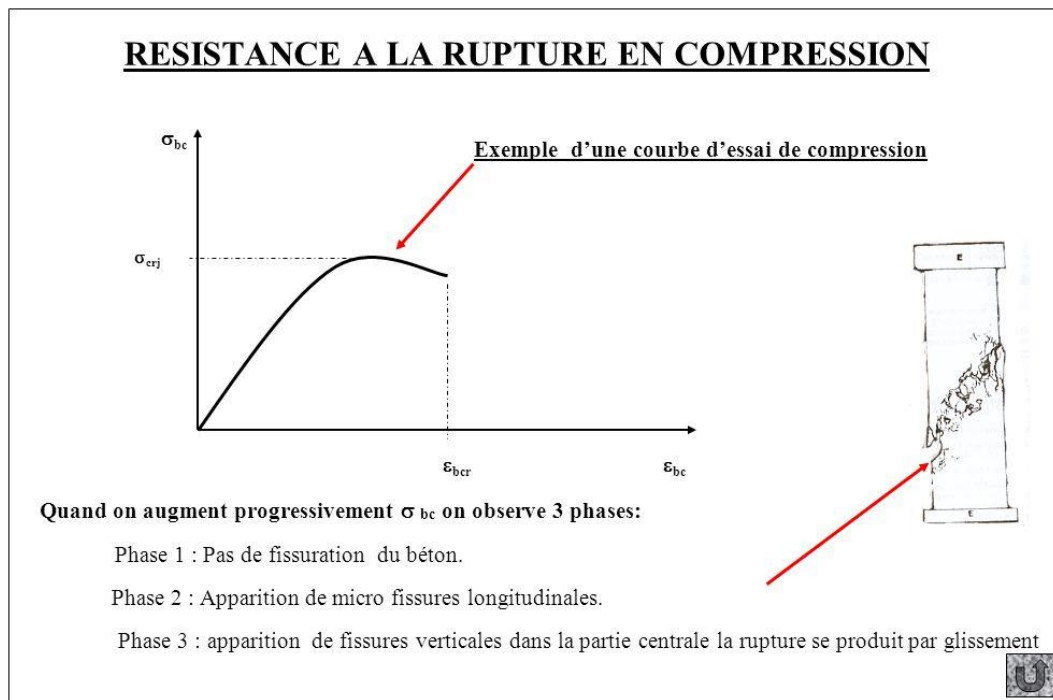


Figure 2.10 Exemple de courbe de compression du béton

2.4. ESSAI DE DURETE

2.4.1. Objectif et principe de dureté

La dureté est la mesure de la résistance d'un matériau à la pénétration. Cette dernière est fonction de plusieurs facteurs dont les principaux sont: la déformation élastique et plastique, le frottement pénétreur-surface indentée, la géométrie de pénétreur, ses propriétés mécaniques et la charge qui y est impliquée. Des tests de dureté sont utilisés pour étudier les effets du traitement thermique, l'écrouissage, la trempe et du formage à froid.

2.4.2. Eprouvettes

La surface de l'éprouvette doit être propre, plane et lisse soigneusement préparée. Plus des dimensions du pénétreur sont petites, plus l'état de la surface doit être lisse. Une application du polissage est parfois obligatoire. La préparation de l'éprouvette doit être faite sans provoquer des altérations des propriétés du matériau dues, par exemple, au chauffage ou à l'écrouissage. L'épaisseur de l'éprouvette doit être suffisante pour qu'aucune trace d'une déformation ne soit visible sur la surface

opposée à celle de l'application de la charge. D'après une règle générale, l'épaisseur minimale est au moins dix fois supérieure à la profondeur de l'empreinte.

2.4.3. Exécution de l'essai

On emploie pour l'exécution de l'essai un dispositif qui est suffisamment rigide et stable. L'essai doit être fait sans choc et sans vibrations, autrement les résultats sont erronés. L'éprouvette doit être installée sur un support rigide du dispositif pendant l'action de la charge. Les essais les plus courants se font par pénétration, les essais les plus classiques sont les essais Brinell, Vickers et Rockwell.

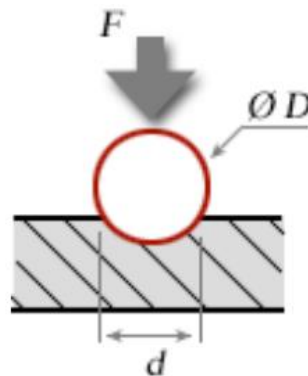


Figure 2.11 Machine d'essai de dureté

1- Dureté Brinell

L'essai Brinell utilise comme poinçon une bille en acier trempé ou en carbure de tungstène de 10 mm de diamètre (D). La pression est maintenue pendant 15 à 30 s selon le métal.

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$



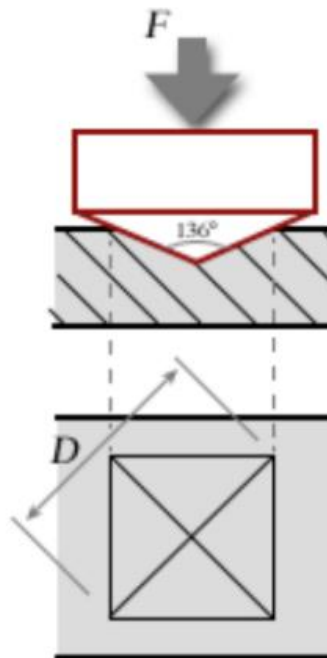
On applique une charge (F) de 500 ou 3000 kgf. On mesure le diamètre (d) de l'empreinte en millimètres. Il s'applique aux métaux "peu durs".

Dureté Vickers

La dureté Vickers est caractérisée par l'empreinte faite par un indenteur sous une charge donnée durant 15 secondes. L'indenteur est formé d'une pyramide en diamant à base carrée dont les faces opposées font un angle de 136° . La charge appliquée est comprise entre 1 et 120 kgf. Le côté de l'empreinte est de l'ordre de 0,5 mm, la mesure s'effectuant à l'aide d'un microscope. La dureté Vickers (HV) est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$HV = \frac{1,854 F}{D^2}$$

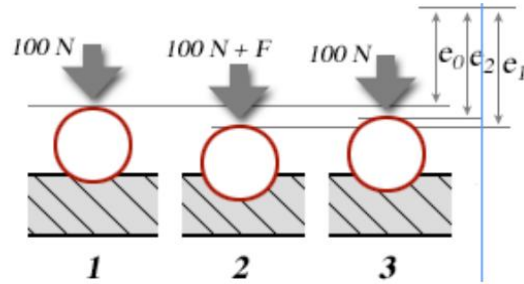
où F est la charge appliquée en kgf et D , la diagonale de l'empreinte en millimètres. La profondeur de pénétration H est $H = D / 7$. Cet essai est appliqué principalement aux métaux, mais peut l'être également appliqué aux céramiques avec de très faibles charges.



2- Dureté Rockwell

Essai Rockwell : mesure de la dureté d'un métal selon l'enfoncement d'une bille d'acier, appelé dureté Rockwell B (HRB) ou d'un cône de diamant de 120° , dureté Rockwell C (HRC).

L'essai consiste à appliquer une précharge de 100 N sur le pénétrateur qui s'enfonce d'une profondeur e_0 . On applique une force supplémentaire F , pendant 3 à 8 s, le cône s'enfonce d'une profondeur e_1 . On supprime la force F , le cône reste enfoncé d'une profondeur e_2 . La profondeur rémanente ($e_2 - e_0$) permet le calcul de la dureté selon la formule : Les indices Rockwell peuvent se lire directement sur un cadran gradué.



a- ROCKWELL C

$HRC = 500(100 - (e_2 - e_0))$ Le pénétrateur est un cône de diamant de 120° et d'extrémité sphérique ($\varnothing 0,2$ mm). La charge F est de 1400 N (150 kgf).

b- ROCKWELL B

$HRB = 500(130 - (e_2 - e_0))$ Le pénétrateur est une bille d'acier de 1,59 mm de diamètre. La charge F est de 900 N (100 kgf).

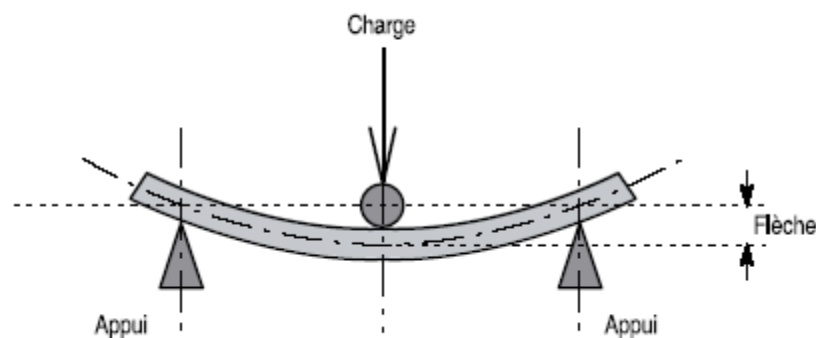
1 Kgf = 9;80665 [N]

2-5. Essai de flexion simple (Essai à trois points)

2-5-1. Principe

L'essai de flexion détermine l'aptitude à la déformation d'un matériau sur deux appuis avec une application de l'effort à mi-distance.

On impose à une éprouvette normalisée une déformation, ou *flèche*, à vitesse de déformation constante, et on mesure la force qu'oppose l'éprouvette à cette déformation.



Cet essai permet de connaître :

- Le comportement mécanique du matériau ;
- Les propriétés du matériau ;
- Les valeurs des caractéristiques du matériau.

2-5-2. Machine de test

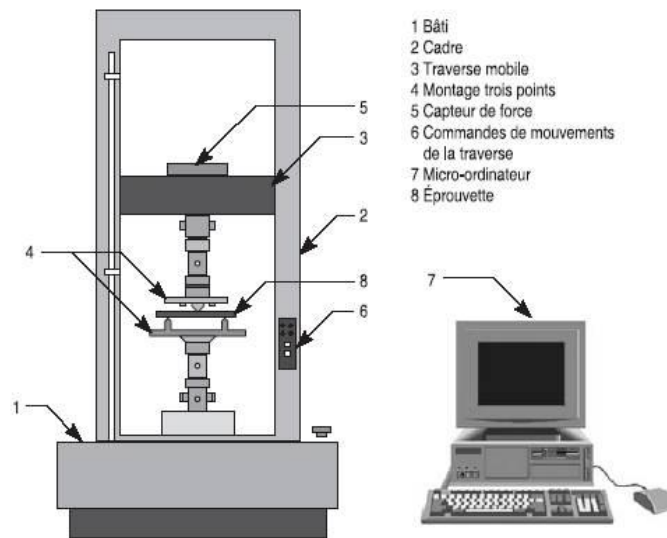
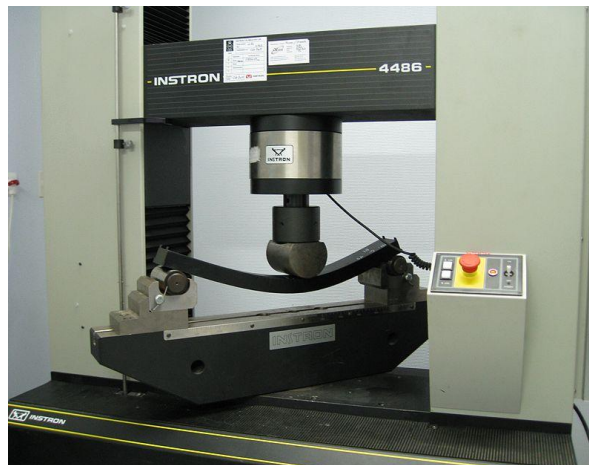


Schéma de la machine de l'essai de flexion

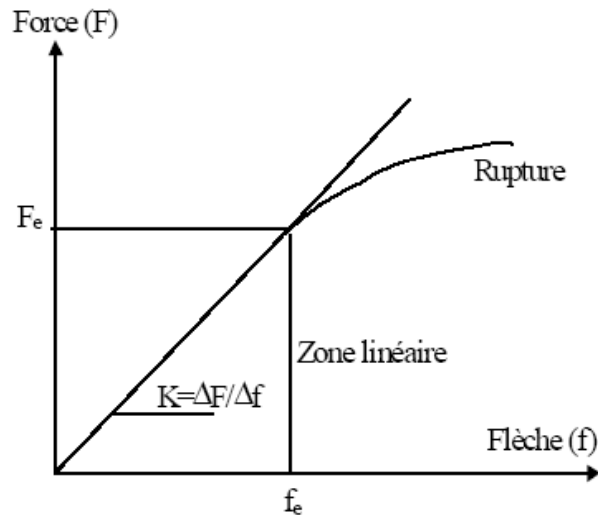


Machine de test

2-5-3. Approche théorique

L'enregistrement de la courbe Effort–Flèche permet de calculer à l'intérieur de la zone linéaire, la rigidité à la flexion K :

$$K = \frac{\Delta F}{\Delta f}$$



L'effort est augmenté progressivement jusqu'à la rupture de l'éprouvette. Ceci permet d'obtenir la résistance à la flexion R_f .

2.6 Essai de résilience

2.6.1 Définition

La résilience qui a pour symbole K , est l'aptitude que possède un matériau à résister aux chocs.

2.6.2 Principe de l'essai

Lors de l'essai, une force de poids P va tomber d'une certaine hauteur H , à ce moment on va enregistrer au niveau de l'éprouvette (e) un certain travail nécessaire pour briser l'éprouvette.

$$\text{Résilience} = \frac{\text{Travail nécessaire}}{\text{Section après entaille}}$$

On aura ainsi la formule $K = \frac{W_n}{S}$ { W en joules
 S en cm^2

➡ Le symbole générale de la résilience est K

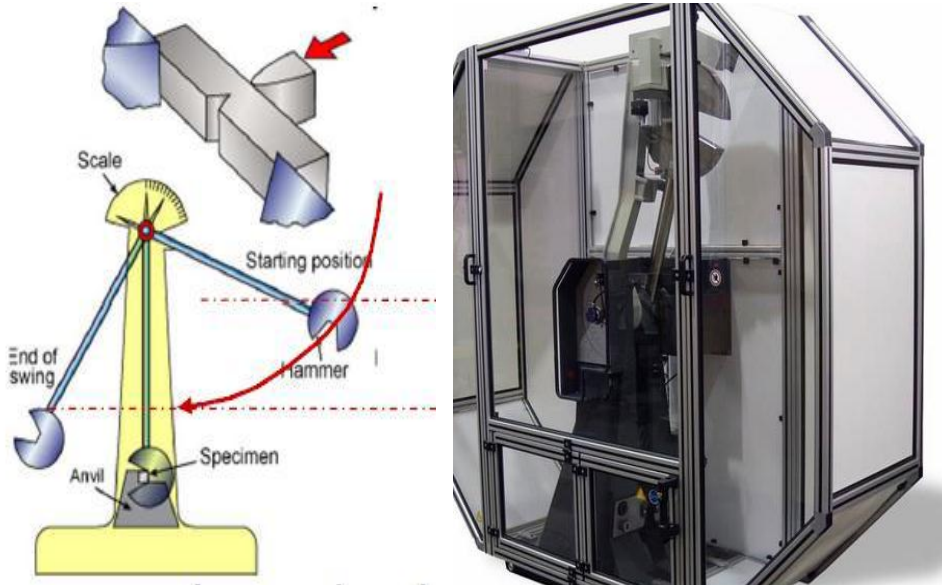
La résilience de l'éprouvette est mesurée sur des machines de type **Charpy** (éprouvette sur deux appuis).

2.6.3 Essai Charpy

Le bras qui porte le couteau, vient percuter l'éprouvette dans sa chute par un mouvement de rotation, puis celui-ci remonte en sens inverse après la rupture de l'éprouvette.

La valeur est alors enregistrée sur le cadran angulaire, ce qui va nous donner le résultat de l'essai.

2.63.1 Machine de l'essai



Machine de résilience Charpy

- ❑ Le mouton Pendule Charpy permettant de réaliser des essais de résilience avec une capacité disponible qui peut atteindre 750 J selon les versions.
- ❑ L'essai permet de déterminer l'énergie absorbée lors de la rupture d'une éprouvette entaillée.
- ❑ Le pendule est constitué d'une base en fonte et de deux colonnes d'appui pour le support des éprouvettes CHARPY, un mouton-pendule avec son bras, un système de levage du mouton motorisé et un mécanisme de déclenchement.
- ❑ Un afficheur numérique permet la lecture de l'énergie absorbée par l'éprouvette testée et un frein motorisé assure la réaction sur le mouton en ralentissement rapide des oscillations.
- ❑ L'équipement est disponible en différentes versions; 150, 300, 450 et 750 Joules et avec différents couteaux d'impact pour répondre aux normes en rigueurs.
- ❑ La sécurité est assurée par un carter de protection transparent.