

ESSAIS MECANQUES :

Propriétés d'usages des matériaux

On peut classer les propriétés des matériaux de la manière suivante :

- Les propriétés physiques (masse volumique, etc.)
- Les propriétés mécaniques :
 - Instantanées (traction, compression, chocs, etc.)
 - Non instantanées (fatigue, etc.)
 - De surface (dureté, abrasion, etc.)
- Les propriétés thermiques (dilatation, conductivité thermique, etc.)
- Les propriétés chimiques (corrosion, vieillissement, etc.)
- Les propriétés optiques (indice de réfraction, etc.)
- Les propriétés électromagnétiques (résistivités, etc.)
- Les propriétés diverses (soudabilité, recyclabilité, etc.)

Ces propriétés vont dépendre de deux états du matériau :

- L'état isotropie
- L'état d'homogénéité

1. Définitions :

1.1. Isotropie :

Un matériau est isotrope s'il présente les mêmes caractéristiques mécaniques dans toutes les directions de la matière. Les métaux et les alliages sont généralement isotropes. Les matières plastiques, les matériaux composites et le bois ne sont pas isotropes, ils sont anisotropes. Le bois est plus résistant dans le sens des fibres que dans le sens perpendiculaire aux fibres.

1.2. Homogénéité :

Un matériau est homogène s'il possède, en tous points, les mêmes propriétés chimiques et physiques. La plupart des métaux et des alliages sont considérés comme homogènes. Le bois et les composites ne le sont pas, ils sont hétérogènes.

1.3. 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.

1.4. Contraintes (unités N/mm^2 ou $1\text{N/mm}^2=\text{MPa}$) : elles caractérisent par des indications chiffrées les efforts de cohésion qui existent entre les grains de matière. On trouve des contraintes normales, ou de tension, ayant pour symbole σ (sigma) et des contraintes de cisaillement, ayant pour symbole τ (tau). (Voir la résistance des matériaux).

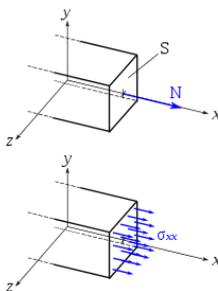


Fig. Contraintes normales σ_{xx} liées à un effort de traction N

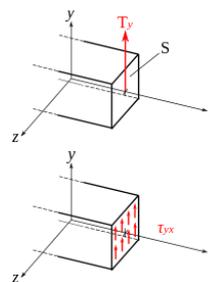


Fig. Contraintes de cisaillement τ_{yx} liées à un effort tranchant T_y (cisaillement simple)

1.5. Les propriétés mécaniques d'un matériau caractérisent sa capacité à subir des contraintes (σ) et des déformations (ϵ) sous l'effet d'une force (F).

Les propriétés sont dites instantanées si σ, ϵ et F n'évoluent pas en fonction du temps (sauf pour la vitesse de déformation)

$$\sigma = \frac{\text{Force}}{\text{Section}} = \frac{F}{S} \quad \epsilon = \frac{\text{Différence de longueur}}{\text{Longueur initiale}} = \frac{\Delta L}{L}$$

2. Essai de traction :

2.1. Définition :

C'est l'essai le plus classique, il consiste à exercer sur une éprouvette normalisée (pièce de dimensions normalisées fabriquée dans le matériau à tester), cylindrique ou parallélépipédique (plate), deux forces égales et opposées qui vont la déformer progressivement puis la rompre.

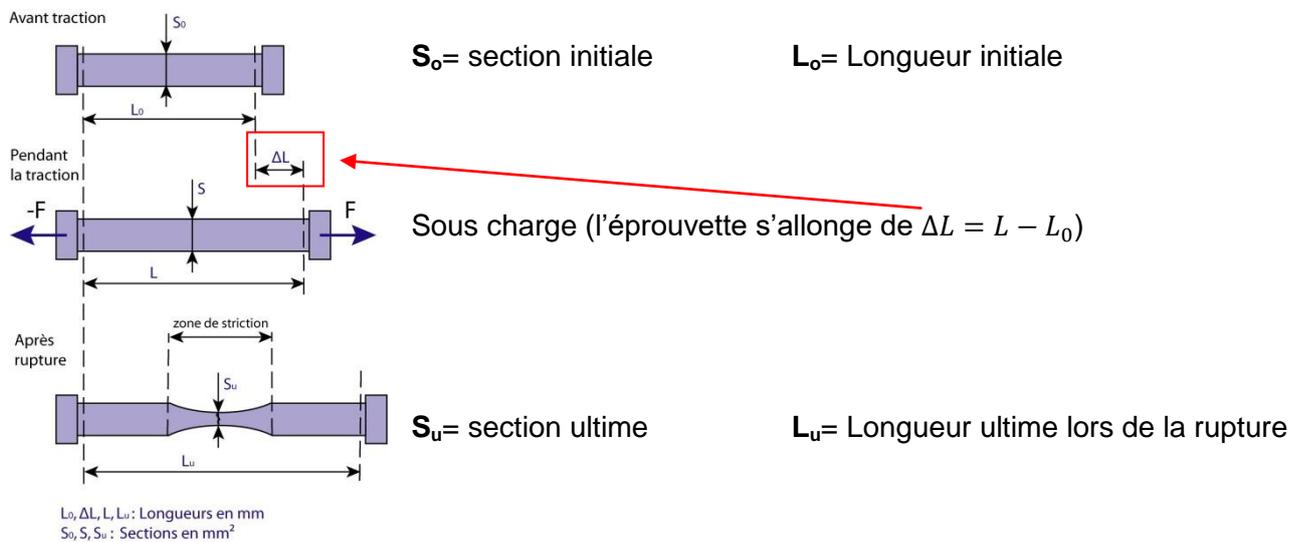


Fig. Essai de traction sur machine Instron 5965
Capacité 5kN

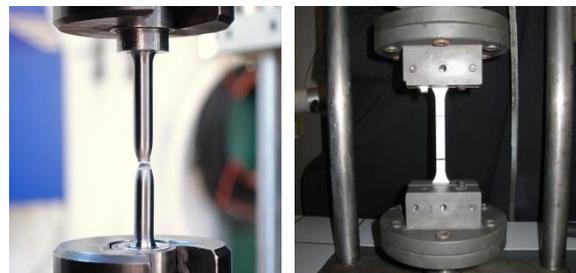


Fig. Epreuves cylindrique et plate

2.2. Courbes contraintes déformations typiques

Pour un grand nombre de matériaux, comme les métaux et les alliages, les courbes obtenues présentent une zone, appelée domaine élastique, où le graphe est une droite (segment OA). Pour tous les points de cette droite, la contrainte σ est proportionnelle à la déformation ϵ ; $\sigma = k \times \epsilon$, ou l'effort exercé F est proportionnel à l'allongement ΔL ; $F = k \times \Delta L$. Dans cette zone le matériau de l'éprouvette est parfaitement élastique et se comporte comme un ressort parfait.

2.3. Grandeurs fondamentales définies par l'essai de traction:

Rr: résistance à la rupture (N/mm^2)

Rm ou **Rr** : résistance maximale - résistance à la traction - résistance à la rupture (N/mm^2)

Re: limite élastique (ou Re0,2) (N/mm^2)

Loi de Hooke :

E: module d'élasticité longitudinal ou module de Young (**Valable uniquement dans le domaine élastique**)

$$\sigma = E \times \epsilon \Rightarrow E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{N}{mm^2} = MPa$$

$$E = \tan \Psi$$

Allongement à la rupture :

$$A\% = 100 \times \frac{L_u - L_0}{L_0}$$

$$\text{unité : } Pa = \frac{N}{m^2} \quad MPa = \frac{N}{mm^2}$$

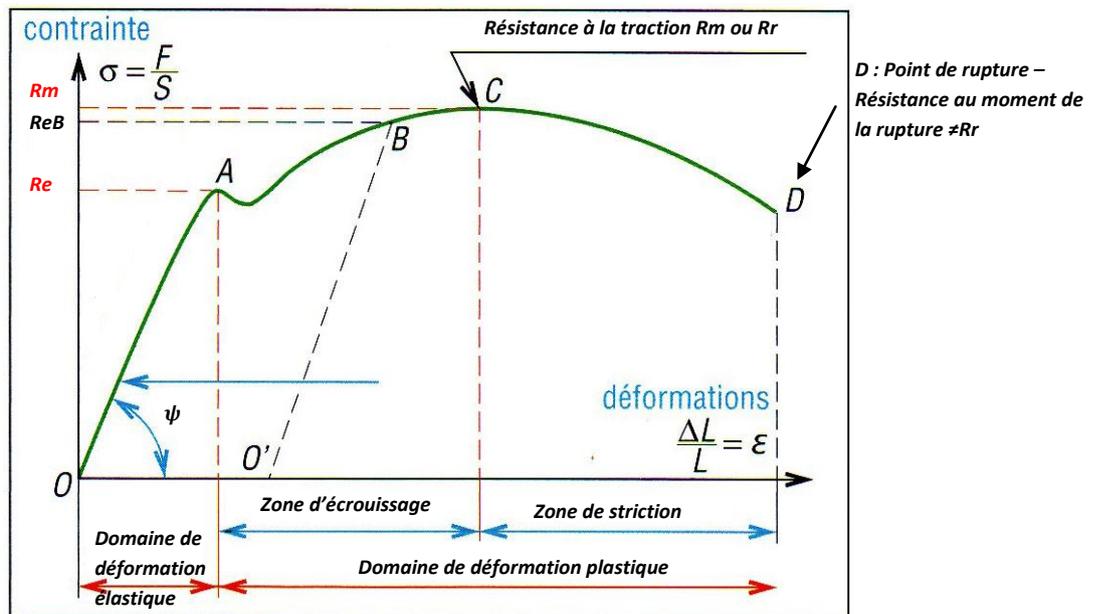
Coefficient de striction à la rupture:

$$Z\% = 100 \times \frac{S_0 - S_{fu}}{S_0}$$

$$\text{Pente de la droite } \sigma = E \times \epsilon \\ E = \tan \psi$$

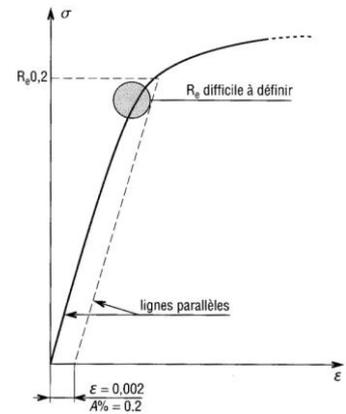
Module d'élasticité transversal :

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$
 (Module de coulomb avec ν coefficient de Poisson.



2.4. Limite conventionnelle d'élasticité $R_{e,0.2}$ (N/mm²)

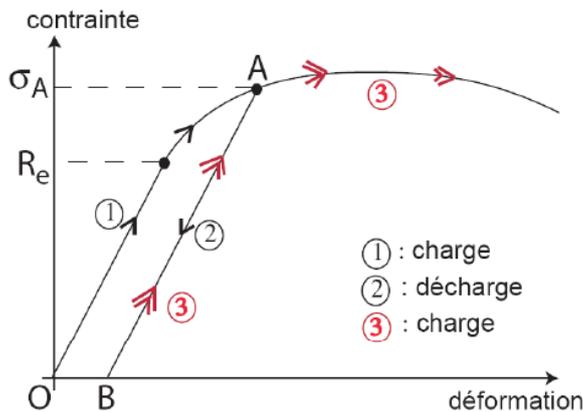
Variante de la précédente (R_e), elle tient compte des imprécisions de la mesure, c'est-à-dire des imperfections de la droite (OA) et des appareils de mesure. Pour la mesure de R_e on tolère une légère déformation permanente de 0,2% ($A\%=0,2$).



2.5. Phénomène d'écrouissage

L'écrouissage d'un métal correspond aux modifications qu'il subit lorsque les contraintes qui lui sont appliquées sont suffisamment fortes pour provoquer des déformations plastiques permanentes (modification de la structure interne du métal)

L'écrouissage se caractérise par l'augmentation de la limite d'élasticité sans modifier la résistance à la rupture R_m .



- ① On charge. On arrête l'essai au point A (Zone plastique) et on décharge (On ramène la contrainte à 0) : La déformation suit la droite (AB)
- ② Lorsque l'on reprend l'essai, la nouvelle limite élastique σ_A est supérieure à R_e
- ③ On garde la même pente donc le matériau a le même module de Young mais une limite élastique plus importante.

3. Définitions :

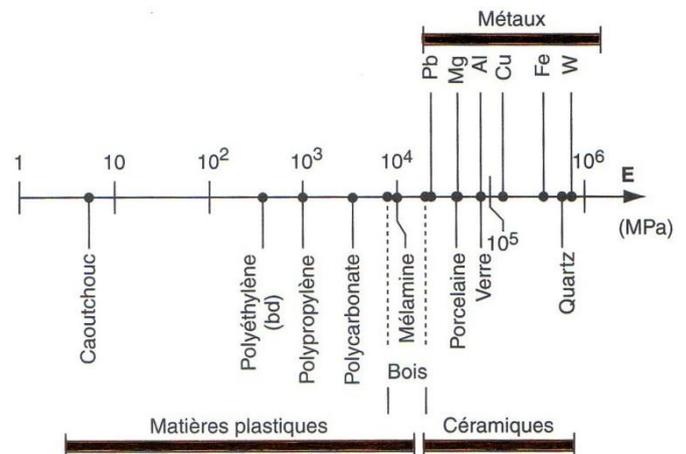
3.1. Résistance : elle est définie par (R_m), c'est la contrainte de traction mécanique maximale avec laquelle une éprouvette peut être chargée - par rapport à sa section transversale

3.2. Rigidité : elle est définie par le module d'élasticité (module d'Young) E. Elle définit la capacité d'un matériau à se déformer de manière élastique.

Plus un matériau est rigide plus la force qu'il faut appliquer est importante, pour une déformation donnée.

3.3. Élasticité : elle caractérise l'aptitude qu'a un matériau à reprendre sa forme et ses dimensions initiales après avoir été déformé. Un ressort, chargé normalement à un comportement élastique. La propriété contraire est la plasticité.

3.4. Plasticité : un matériau qui ne reprend pas sa forme et ses dimensions initiales après avoir été déformé est dit plastique. La pâte à modeler a un comportement plastique. La plupart des métaux et des alliages ont un comportement élastique sous charges modérées et plastique sous charges excessives.



3.5. Ductilité : c'est l'aptitude qu'a un matériau à se déformer plastiquement sans se rompre. Elle est caractérisée par l'allongement pour cent A% (plus A% est grand, plus le matériau est ductile).

- Si A % > 5 % les matériaux sont considérés comme ductiles.
- Si A % < 5 % les matériaux sont considérés comme fragiles ou " cassants ".
- Z% (striction) et K (résilience) sont également des indicateurs.

La ductilité est une propriété déterminante pour les matériaux devant être déformés à froid (Emboutissage, pliage...).

3.6. Malléabilité : cette propriété est identique à la ductilité mais appliquée à la compression. L'aluminium, le cuivre, l'or, certains laitons et certains aciers inoxydables sont très malléables (A% > 35 %) et acceptent des emboutissages profonds.

3.7. Fragilité : (voir ductile) un matériau fragile est non ductile.

3.8. Ténacité : est caractérisée par l'énergie nécessaire pour casser un matériau. Un matériau tenace combine une bonne capacité d'allongement, et une bonne résistance à la rupture.(voir résilience)

4. Essai de compression

Il consiste à soumettre une éprouvette de forme cylindrique à deux forces axiales opposées en la plaçant entre les plateaux d'une presse.

Surtout utilisé pour déterminer les propriétés des matériaux fragiles.(bétons, etc.)

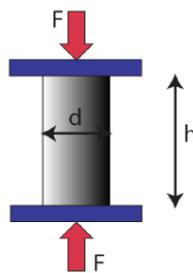


Fig. Essai de compression sur le béton

5. Essai de résilience

Ces essais ont pour but de mettre en évidence la ténacité du matériau.

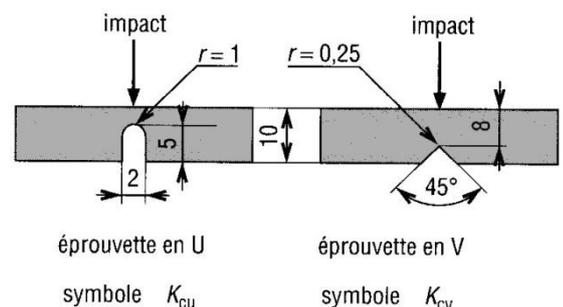
La résilience de symbole K est caractérisée par l'énergie nécessaire W pour casser un matériau.

$$K = \frac{W}{S} = \frac{\text{énergie absorbée}}{\text{section au droit de l'entaille}}$$

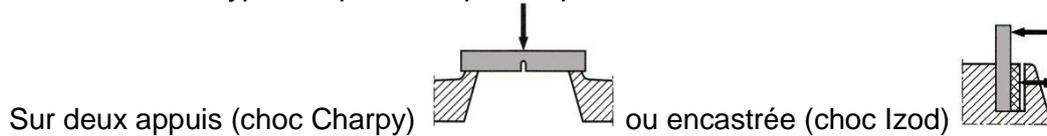
La résilience est mesurée sur des éprouvettes à l'aide de machines de type charpy

L'éprouvette est constituée d'un barreau entaillé par usinage en son milieu. La forme d'entaille la plus fréquente est la forme en V. Il existe également une éprouvette avec une entaille en U Les dimensions générales des éprouvettes sont les suivantes :

Dimensions en mm	Éprouvette en V	Éprouvette en U
Longueur	55	55
Hauteur	10	10
Largeur	10	10
Hauteur éprouvette à fond d'entaille	8	5
Rayon à fond d'entaille	0,25	1
Angle de l'entaille	45°	Bords parallèles



On trouve deux types de positions pour l'éprouvette.



L'essai, qui est un essai comparatif entre matériaux, mesure l'énergie qu'il faut fournir à un pendule pesant pour briser une éprouvette entaillée du matériau à tester. L'énergie absorbée par l'éprouvette (W) est égale à la différence des énergies potentielles du pendule entre le départ et l'arrivée

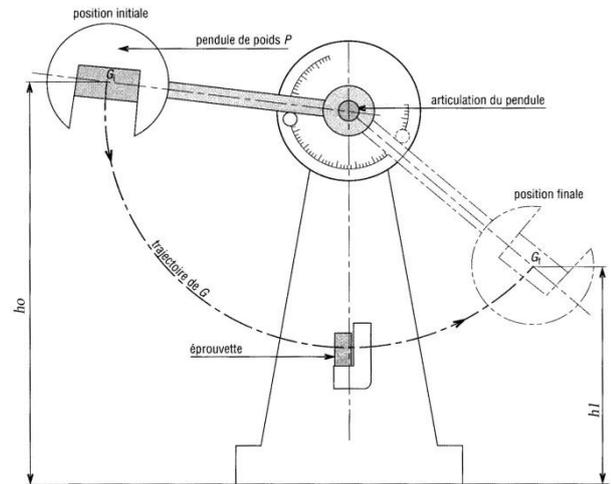
Au départ : $W_o = m \times g \times h_o$ à l'arrivée : $W_1 = m \times g \times h_1$

Énergie absorbée par l'éprouvette.

$$W = m \times g \times (h_o - h_1) \quad \text{Unité : } J \text{ (joule)}$$

La résistance KCV établit suivant la norme d'une éprouvette avec entaille en V.

$$KcV \text{ (J/cm}^2\text{)} = W/S$$



En fonction du matériau, l'énergie mise en œuvre change :

- De 0,5J à 50 J pour les matières plastiques.
- De 100J à 300J pour les métaux avec de petites éprouvettes (40 mm entre appuis)
- 3000J pour les métaux avec de grandes éprouvettes (120 mm entre appuis).

Exemple : KV 121 (pour une entaille en V et une énergie nominale de 300J).

6. Essai de dureté

La dureté d'un matériau, symbole général H, est la résistance qu'il oppose à la pénétration d'un corps plus dur. Il existe un grand nombre d'essais possibles mais on relèvera principalement les essais :

- pour les métaux :
 - Brinell, HB
 - Vickers, HV
 - Rockwell, HR
- Pour les plastiques :
 - Shore
 - Barcol

6.1. Dureté Brinell (symbole HB)

Elle est obtenue par calcul. Après essai, on mesure l'empreinte laissée par une bille polie (diamètre:1-2,5-5-10 mm) et la valeur de la charge F appliquée pour obtenir cette empreinte (essai usuel $F = 3\,000$ daN, $d = 10$ mm, pendant 15 à 60 secondes). Utilisation tous métaux.

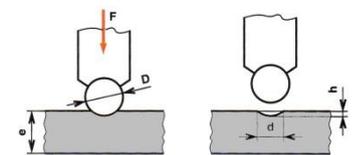


Fig. Mesure de l'empreinte laissée par une bille polie

Fig. Essai de compression sur le béton

6.2. Dureté Vickers (symbole HV)

Elle est obtenue par calcul ; le principe est identique au précédent mais avec une pyramide droite en diamant à base carrée dont l'angle au sommet est de 136°. Utilisation tous métaux. Variante essai Knoop (microdureté, empreinte en forme de losange, matériaux durs pour petites pièces et fines sections).

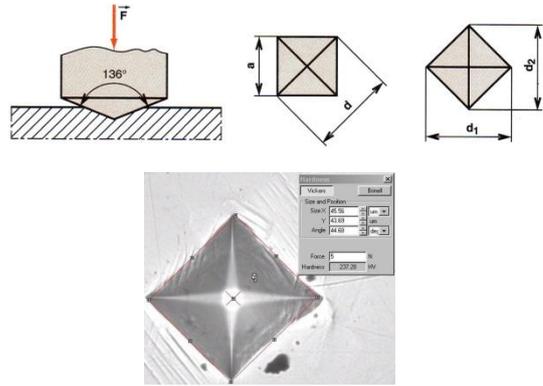


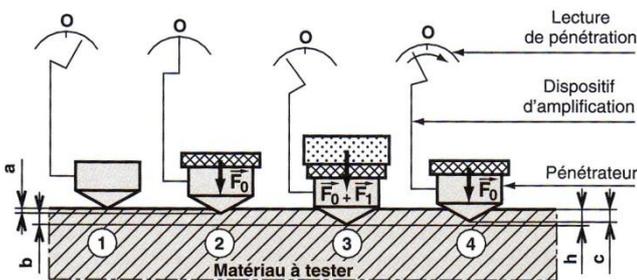
Fig. Mesure de l'empreinte laissée par une pyramide droite

6.3. Dureté Rockwell (symbole HR)

C'est l'essai de dureté le plus connu mondialement. Dans ce cas, la dureté, contrairement à Brinell et Vickers, est obtenue par lecture directe d'une longueur d'enfoncement d'un pénétrateur, bille acier ou cône diamant.

Une précharge (F_0) permet de faire une empreinte initiale et, par là, d'éliminer les incertitudes propres aux défauts de la surface.

Échelles de mesure HRc (pour ferreux), HRd et HRa avec cônes (pour matériaux durs et très durs carbures, aciers trempés...) ; HRb (non ferreux et métaux en feuilles) HRe, HRf, HRg (pour métaux doux) HRm et HRr avec billes (pour matières plastiques).



6.4. Dureté shore A et D et Barcol.

Ces essais constituent à appliquer une forme définie, avec une forme déterminée, dans un matériau. Cette pointe étant relativement fragile, ces essais sont adaptés pour les matériaux de faible dureté (matière plastique, plomb, etc..)

Essai Shore A : Duromètre avec une pointe aplatie
Pour les matériaux caoutchoutiques

Essai Shore D : Duromètre avec une pointe fine
Pour les matériaux plastiques plus dures

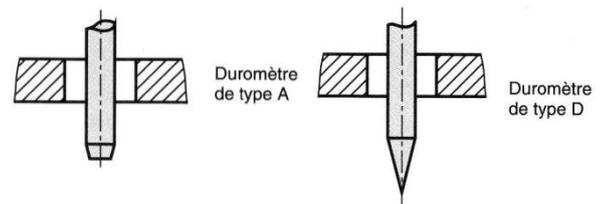


Fig. Duromètre shore A



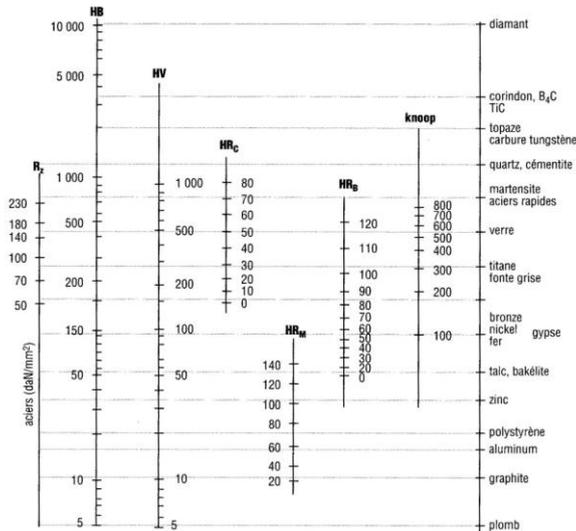
Fig. 7 Etalons shore A



Fig. Duromètre digitale shore A ou D

Source : <https://www.micronfrance.com/>

Comparaisons indicatives des échelles de dureté usuelles



7. L'essai de fluage

Un essai de fluage déformation consiste à mesurer la déformation en fonction du temps. En pratique un essai de fluage consiste à maintenir une éprouvette à haute température sous charge constante (et non sous contrainte constante), et à mesurer la déformation en fonction du temps.

8. Les essais de fatigue ou d'endurance

On réalise un essai de fatigue en comptant le nombre de cycles nécessaires jusqu'à la rupture.

Il existe un grand nombre de modes de sollicitation, les essais les plus fréquents sont :

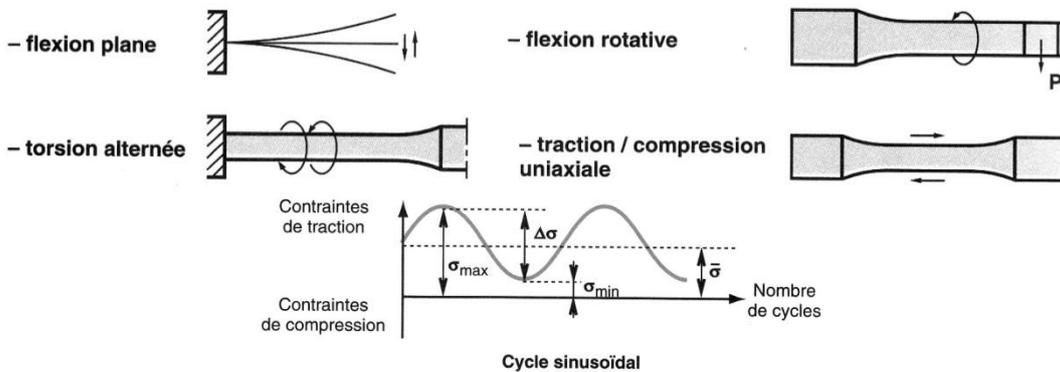


Fig. Bancs d'essai de test de fatigue de sièges (ferroviaire) et guidon de VTT