

Expériences sur les propriétés mécaniques des métaux

par M.-C. MICHEL,
L.T.E. Varoquaux, 54510 Tomblaine
et J.-P. MICHEL,
E.N.S.M.I.M., 54042 Nancy Cedex.

Les métaux sont principalement utilisés comme matériaux de structure ; il est donc important de connaître leurs propriétés mécaniques. Les machines, qui permettent de les mesurer sont lourdes et n'ont pas leur place dans les laboratoires de lycée. Pourtant, des expériences simples permettent d'illustrer les concepts d'élasticité et de plasticité, de classer les métaux suivant leur résistance mécanique et même de déterminer quelques-unes de leurs propriétés intrinsèques. Deux d'entre elles peuvent facilement être réalisées en travaux pratiques : les essais de flexion et de dureté.

I. FLEXION.

Le schéma de principe de cet essai est celui de la poutre horizontale encastrée à une extrémité et chargée verticalement à l'extrémité libre (fig. 1).

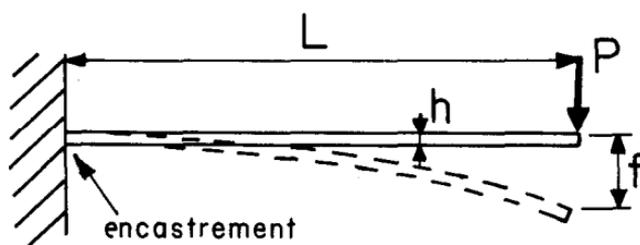


Fig. 1

On mesure le déplacement f de l'extrémité, appelée flèche, pour des valeurs croissantes de la charge P .

Montage.

Les éprouvettes utilisées sont des lames parallélépipédiques taillées dans de la tôle. Les dimensions sont : longueur : 300 mm,

pour avoir une longueur utile $L = 200$ mm, largeur $l = 20$ mm, épaisseur $h = 1$ mm. Elles sont percées d'un trou à une extrémité pour l'application de la charge (fig. 2).

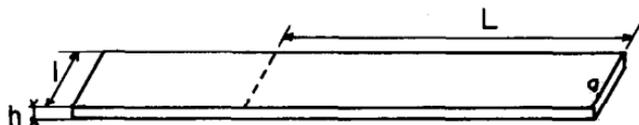


Fig. 2

Des lames d'aluminium et d'acier doux ont été étudiées. La charge est appliquée de façon croissante en accrochant des masses marquées à un fil par incréments de 0,2 N l'aluminium et 0,5 ou 1 N pour l'acier.

L'éprouvette est fixée à une extrémité par un serre-joint. Une languette de contre-plaqué superposée sert de support à un papier millimétré sur lequel sera mesurée la flèche (fig. 3).

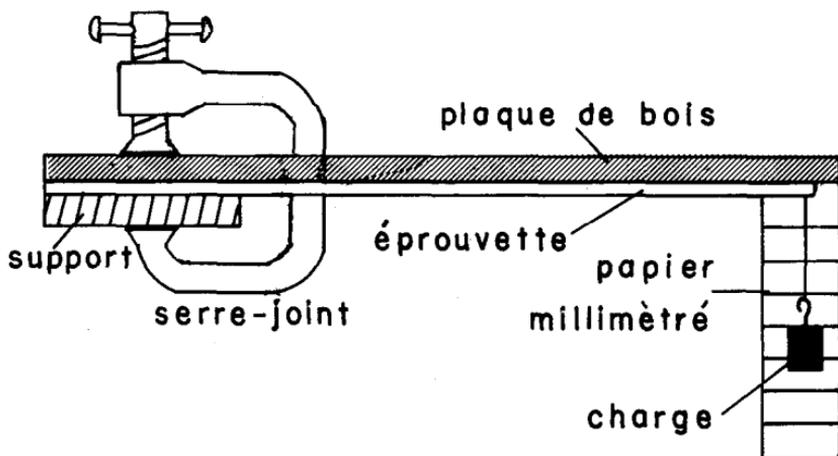


Fig. 3

Résultats.

— Aluminium : les résultats sont rassemblés sur la courbe de la fig. 4 a. Au début de la courbe, flèche et charge sont proportionnelles, c'est la partie élastique. Au-delà d'une charge critique P_c , voisine de 0,6 N la flèche augmente plus vite, à la déformation élastique s'ajoute une déformation plastique. La déformation élastique persiste quand on enlève la charge. De la valeur de P_c , on peut déduire une caractéristique du matériau, la limite élastique (voir Annexe).

— Acier : pour l'éprouvette d'acier, on reste dans le domaine élastique jusqu'à une charge P_c beaucoup plus grande, voisine de

8 N. Ensuite la flèche augmente très rapidement, la transition entre les deux domaines étant plus marquée que pour l'aluminium.

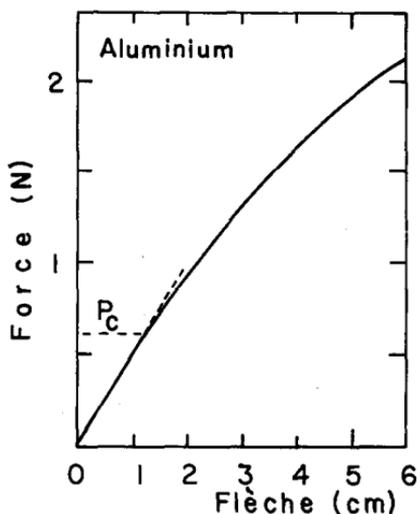


Fig. 4 a). — Aluminium.

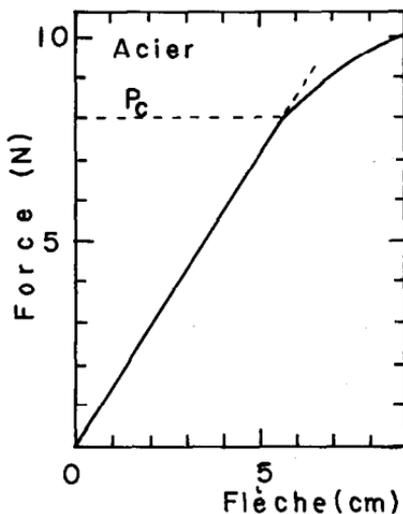


Fig. 4 b). — Acier.

II. DURETE.

L'essai de dureté est souvent utilisé dans l'industrie et les laboratoires car il permet rapidement, et de façon non descriptive, de caractériser un matériau. Généralement, il consiste à déterminer la résistance du matériau à la pénétration d'un indenteur soumis à une charge. Pour les métaux, on utilise surtout les essais BRINELL et VICKERS dans lesquels on mesure la dimension de l'empreinte faite par un pénétrateur respectivement sphérique et pyramidal et les essais ROCKWELL où on mesure la profondeur de pénétration d'un cône ou d'une bille (la dureté MOHS qui permet de comparer tous les minéraux est trop peu précise pour une seule catégorie d'entre eux telle que les métaux). L'essai de dureté n'est que comparatif, son résultat est un nombre en unités arbitraires qui dépend de l'essai utilisé et qui n'est donc pas une caractéristique intrinsèque du matériau étudié.

Plus rarement, on utilise l'essai SPHERE dont le principe est différent car il mesure le rebondissement d'un mouton sur le matériau. La hauteur de remontée est d'autant plus faible que le matériau s'est déformé plastiquement sous le choc, donc qu'il est mou. La dureté est, par convention, proportionnelle à la hauteur et on attribue la dureté 100 à un acier très dur. C'est cet essai que nous nous proposons de mettre en œuvre car étant le plus simple.

Montage.

Le mouton est ici remplacé par une bille en acier dur trempé. Des billes de roulement à billes conviennent parfaitement (on en trouve chez les marchands de cycles, 13 F les 100 en diamètre 6 mm). La bille tombe dans un tube de verre vertical, de hauteur 30 cm et de diamètre intérieur 9 mm, sur une plaquette horizontale du métal à étudier (fig. 5). La surface de la plaquette doit être plane mais pas nécessairement polie.

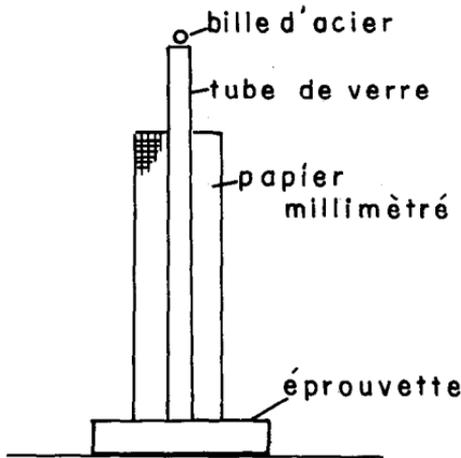


Fig. 5

Pour une mesure significative, l'éprouvette doit avoir une épaisseur et une masse minimales. Les dimensions suivantes : épaisseur 6 mm, longueur et largeur 5 cm sont suffisantes. On fixe derrière le tube de verre une bande de papier millimétré qui permettra de lire la hauteur de remontée de la bille après le choc.

On peut étudier différents métaux et également le verre et le bois, mais ni le caoutchouc, le PVC et autres corps susceptibles de grandes déformations élastiques.

Résultats.

Hauteur de remontée h d'une bille de diamètre 6 mm tombant de 30 cm.

| Métal | Plomb | Duralumin | Acier |
|--------|-------|-----------|-------|
| h cm | 0,3 | 7 | 12 |
| Dureté | 5 | 113 | 184 |

Pour le plomb, la hauteur de remontée est quasi nulle. On observe nettement l'impact de la bille sur la surface. Pour le duralumin et l'acier, les hauteurs de remontée sont nettement différentes et bien reproductibles. Les points d'impact de la bille sont beaucoup plus petits mais restent visibles. Pour comparaison, les duretés VICKERS des échantillons ont été portées dans le tableau des résultats. On remarque une bonne correspondance entre les résultats de deux méthodes, le rapport de la dureté VICKERS sur la hauteur de remontée est pratiquement constant pour ces trois métaux de duretés différentes.

ANNEXE :

LIMITE ELASTIQUE ET MODULE D'YOUNG DANS L'ESSAI DE FLEXION

Dans l'essai de flexion d'une poutre encastree à une extrémité, la moitié supérieure de la poutre est soumise à une contrainte de traction, la moitié inférieure à une contrainte de compression. La contrainte est maximale en surface, à l'encastrement, elle vaut alors :

$$\sigma = \frac{6 PL}{b h^2}. \quad (1)$$

A la limite élastique, on remplace P par P_c et on obtient σ_c , contrainte caractéristique du matériau.

Pour l'aluminium, on obtient : $\sigma_c = 36 \text{ MPa}$.

Pour l'acier : $\sigma_c = 480 \text{ MPa}$.

Ces valeurs sont voisines de celles obtenues par l'essai de traction. (En fait, la limite élastique déterminée par flexion de poutres est en général supérieure à celle trouvée par l'essai de traction comme dans le cas des aciers doux, par exemple).

Dans la partie élastique, la flèche est proportionnelle à la charge suivant la loi :

$$f = \frac{4 PL^3}{E b h^3} \quad (2)$$

où E est le module d'élasticité ou module d'Young. On obtient ainsi, à partir de la pente de la droite élastique les valeurs $8 \cdot 10^{10} \text{ MPa}$ et $20 \cdot 10^{10} \text{ MPa}$ respectivement pour l'aluminium et l'acier. On est très proches des valeurs habituellement utilisées qui sont $7 \cdot 10^{10}$ et $20 \cdot 10^{10} \text{ MPa}$.

Remarque.

A défaut d'une poutre rectangulaire, on peut utiliser une tige cylindrique. Les relations (1) et (2) deviennent alors :

$$\sigma = \frac{32 P L}{\pi D^3} \quad (1') \quad \text{et} \quad f = \frac{64 P L^3}{3 \pi E D^4} \quad (2')$$

où D est le diamètre de la tige.

BIBLIOGRAPHIE

Cet article s'est inspiré du cours « Matériaux » de l'Ecole Polytechnique de Montréal de M. RIGAUD, J.-P. BAILON, J.-M. DORLOT, J. MASOUNAVE, G. GUÉRIN, J. MELANCON, L. HAENNY.

Sur la flexion des poutres, on pourra lire :

- FEODOSSIEV V., *Résistance des matériaux*, Editions Mir (1971),
- GIET A., GÉMINARD L., *Résistance des matériaux*, tome 1, Dunod (1972),

et sur les essais de duretés :

- BENSIMON R., *Les matériaux métalliques*, tome 2, PYC-Edition (1970).
-