

ESSAI DE TRACTION

I) BUT DE L'ESSAI DE TRACTION :

Cet essai a pour but de déterminer certaines caractéristiques mécaniques essentielles des matériaux.

II) ECHANTILLON D'ESSAI :

Pour essayer un matériau on fabrique une pièce de forme particulière appelée éprouvette. Il existe différents types d'éprouvettes selon la forme du produit (barres, fils, tôles, tubes, pièces forgées ou moulées...) et la nature du matériau.

Exemple d'Éprouvettes tournées dans des barres :

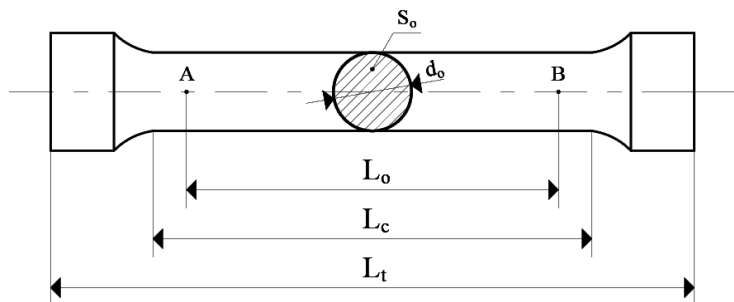


Fig. 1. Barreau cylindrique

L_0 = Longueur initiale entre repères

L_c = Longueur de la partie calibrée

L_t = Longueur totale de l'éprouvette

S_0 = Section initiale de l'éprouvette

d_0 = Diamètre initial de l'éprouvette

Les extrémités des éprouvettes peuvent présenter la forme voulue pour s'adapter aux mâchoires de la machine d'essai.

Les dimensions des éprouvettes sont précisées par les normes.

III) EXECUTION DE L'ESSAI :

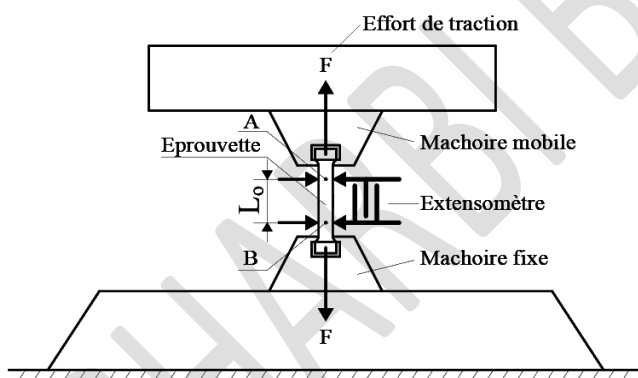


Fig. 2. Schéma simplifié d'une partie de la machine d'essai à la traction.

L'éprouvette est placée dans la machine d'essai (Fig. 2). L'une des têtes est fixée dans une mâchoire fixe et l'autre dans une mâchoire mobile. La machine fournit un effort de traction F variable dont l'action s'exerce jusqu'à la rupture de l'éprouvette. La vitesse de mise en charge ou vitesse de traction doit être assez faible ; elle est de l'ordre de $10\text{N/mm}^2\text{s}$. Des appareils de mesures installés sur la machine permettent de connaître à chaque instant l'effort appliqué F sur l'éprouvette et la variation de longueur $\Delta L = L - L_0$ (Fig. 4.) de cette éprouvette. F est mesuré par un indicateur de force et ΔL correspondante est mesurée par un extensomètre mécanique.

NB : - La machine d'essai disponible au laboratoire est une machine hydraulique universelle ; elle permet de réaliser des essais de traction et de compression.

- L'effort appliqué F est créé par pression hydraulique transmise à un Piston.

Dans le cas où la machine d'essai comporte un mécanisme enregistreur, on obtient après l'essai de l'échantillon un diagramme représentant la relation entre les efforts F et les allongements ΔL " $F=f(\Delta L)$ " tracé à une échelle déterminée sur une feuille de papier et qu'on appelle **diagramme "efforts-allongements"**.

Si la machine d’essai ne dispose pas d’un mécanisme enregistreur, on construit le diagramme efforts-allongements, à une échelle déterminée, sur du papier millimétré à partir des valeurs prises pendant l’essai. Suivant les matériaux essayés, le diagramme efforts-allongements présente diverses allures (Fig. 3.).

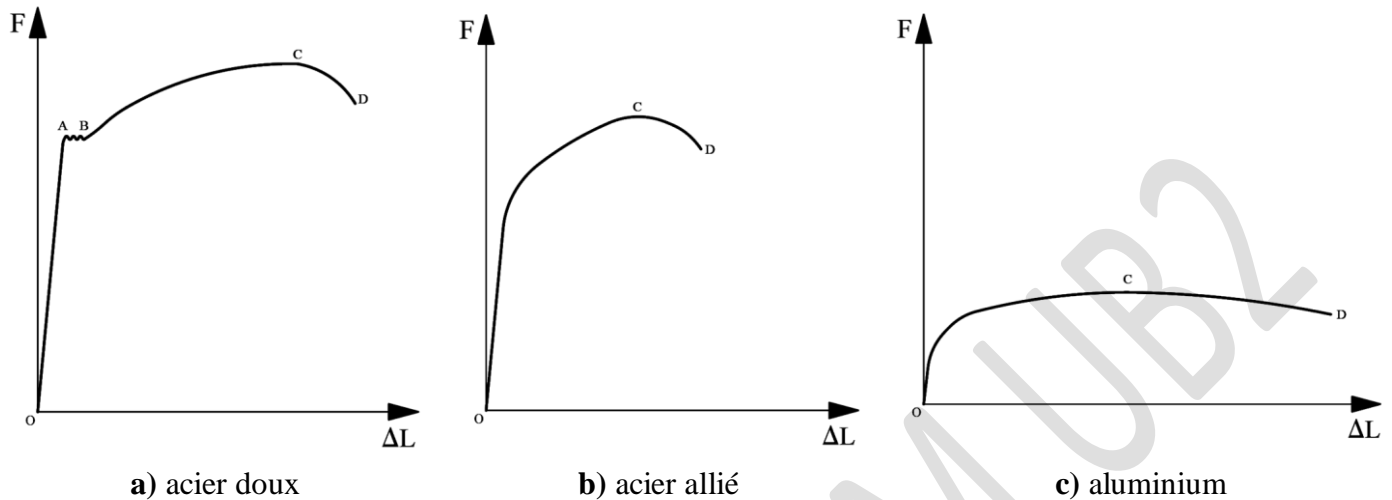


Fig. 3. Allures du diagramme efforts-allongements.

Lors de l’essai de traction, l’allure de l’évolution de la déformation d’une éprouvette en **acier doux** est donnée par le schéma suivant :

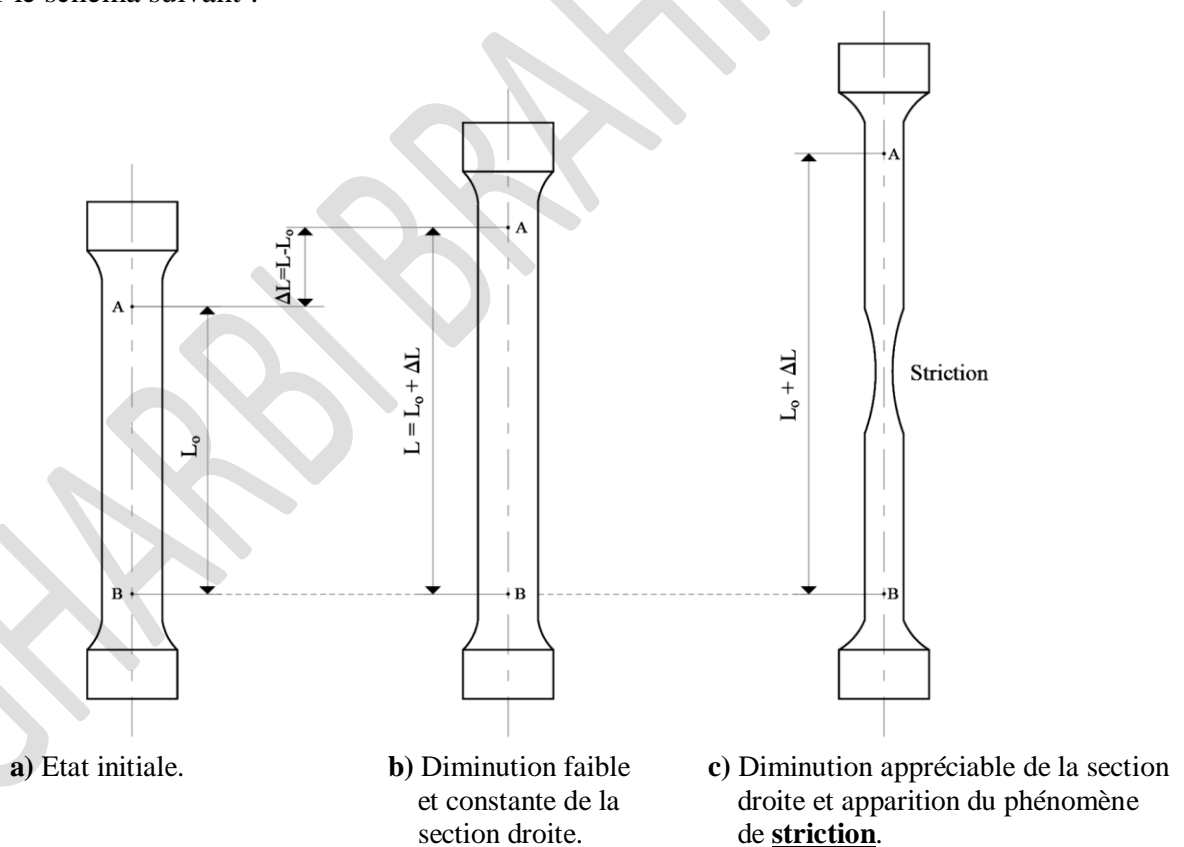


Fig. 4. Allure de l’évolution de la déformation d’une éprouvette en **acier doux** soumise à un essai de traction.

Striction : diminution importante et localisée de la section, on dit que l’éprouvette s’étrangle (c’est le lieu de la future rupture).

IV) INTERPRETATION DU DIAGRAMME EFFORTS-ALLONGEMENTS $F=f(\Delta L)$:

En général les résultats de l’essai, pour la plupart des matériaux, font apparaitre deux phases principales (Fig. 5.) :

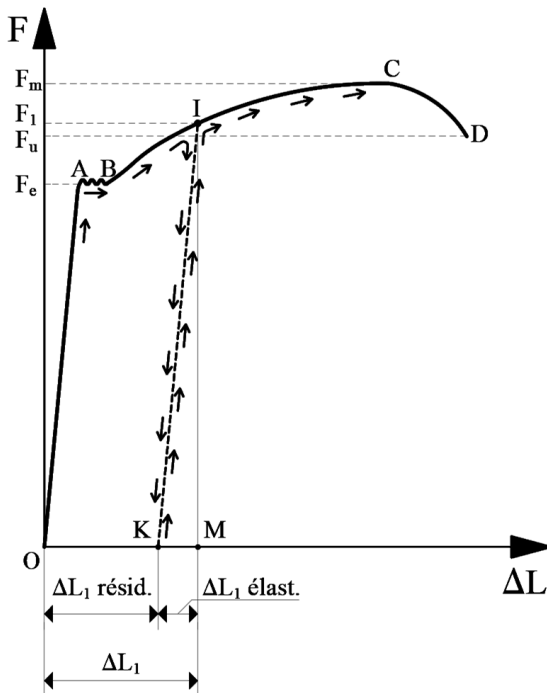


Fig. 5. Allure du diagramme efforts-allongements d'un acier doux.

A : Limite de la phase élastique.

C : point de charge maximale qui marque le début de la striction.

D : point de rupture de l'éprouvette.

F_e : charge à la limite apparente d'élasticité.

F_m : charge maximale.

F_u : charge ultime.

$\Delta L = L - L_0 =$ Allongement absolu avec L longueur utile de l'éprouvette (fonction de l'effort de traction F) Fig. 4.

1^{ère} phase : déformation élastique.

Sur le diagramme efforts-allongements la courbe correspondant à cette phase est une droite **OA** très proche de l'axe des charges, les allongements ΔL très petits sont proportionnels aux charges. Si on supprime l'effort, l'éprouvette reprend sa longueur initiale L_0 ; **la déformation est élastique** (Fig. 4. a et Fig. 4. b). A partir de la valeur **F_e** correspondant au point **A** du diagramme, l'allure de la déformation change brusquement. Le point **A** marque la fin de la première phase, la charge **F_e** correspondante est appelée charge à la limite apparente d'élasticité.

Pendant cette phase la diminution de la section S_0 est constante et si faible qu'on peut la négliger (Fig. 4. b). Dans cette phase le matériau suit la **loi de Hooke** qui exprime, pour des allongements petits et pour la plupart des matériaux, la dépendance linéaire entre les contraintes et les déformations : **$\sigma = E \epsilon$**

avec $\sigma = F/S_0$ contrainte normale en un point de la section droite en N/mm^2 ou MPa (Mégapascals) ; $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10^6 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2$.

E = constante physique du matériau qui se détermine expérimentalement, appelée coefficient de Hooke ou module de Young ou module d'élasticité longitudinale.

$\epsilon = \Delta L/L_0 = (L - L_0)/L_0$ appelé allongement relatif ou allongement unitaire ou dilatation linéique relative ; c'est le rapport de l'allongement absolu ΔL à la longueur initiale L_0 de l'éprouvette (Fig. 4. b).

2^{ème} phase : déformation permanente.

Sur le diagramme efforts-allongements (Fig. 5.), le tracé correspondant à cette phase est donné par la courbe **ABCD**. A partir de **$F = F_e$** (point **A**), les allongements augmentent rapidement avec un accroissement de la charge infiniment plus lent (plusieurs centaines de fois) que dans la phase élastique.

Si on supprime l'effort lorsqu'il a atteint la valeur **F_1** , l'éprouvette ne reprend pas sa longueur initiale, elle conserve un certain allongement ; **la déformation est permanente**.

En traçant le diagramme de "retour" obtenu en faisant décroître lentement la force de traction de la valeur **F_1** à la valeur **zéro**, on obtient la droite **IK** parallèle à **OA**. La longueur **OK** mesure la valeur de l'allongement permanent obtenu avec la Force **F_1** (Fig. 5.), par suite **$\Delta L_1 = OM = OK + KM$** avec **OK** = allongement permanent ou résiduel ou plastique et **KM** = allongement élastique.

Si l'on recharge à nouveau l'éprouvette, le diagramme efforts-allongements est représenté d'abord par la droite **KI** et ensuite par la courbe **ICD** comme s'il n'y avait pas eu de décharge intermédiaire.

Ceci nous amène à conclure qu'on peut améliorer les propriétés élastiques d'un matériau (**$KI > OA$**) par déformation plastique préalable (cette opération est appelée écrouissage).

Durant cette phase la section diminue de manière appréciable et cette diminution devient nettement visible lorsque $F = F_m$ = charge maximale (Fig.4. c). Le point **C** correspondant marque le début de la striction. A partir de **C** l'éprouvette continue à s'allonger alors que la charge décroît. La rupture a lieu en **D** et la charge F_u correspondante est appelée charge ultime. Pour beaucoup de matériaux il y a rupture sans étranglement notable.

Remarque : Pour le matériau considéré (acier doux) la phase de déformation permanente peut être divisée en trois domaines :
a) domaine AB : c'est le palier de plasticité ; il correspond à une déformation hétérogène de l'éprouvette.
b) domaine BC : c'est le domaine de déformation permanente homogène ou de déformation plastique répartie ou encore domaine d'écroutissage.
c) domaine CD : c'est le domaine de striction ou de déformation plastique localisée et non homogène. Les allongements croissent avec une diminution de la charge.

V) CARACTERISTIQUES MECANIQUES ESSENTIELLES D'UN MATETRIAU :

Pour donner une évaluation quantitative des propriétés du matériau on trace de nouveau le diagramme efforts-allongements en coordonnées σ et ϵ (avec $\sigma = F/S_0$ et $\epsilon = \Delta L/L_0$). A cet effet réduisons de S_0 fois les ordonnées et de L_0 fois les abscisses. Comme ces grandeurs sont constantes, le diagramme $\sigma = f(\epsilon)$ a la même allure que le diagramme $F=f(\Delta L)$, mais il caractérise non pas les propriétés de l'éprouvette, qu'on vient de voir, mais celles du matériau. Le diagramme obtenu qui ne diffère du précédent que par la graduation des axes, s'appelle diagramme **contraintes-allongements relatifs** ou **diagramme conventionnel de traction** (Fig. 6.).

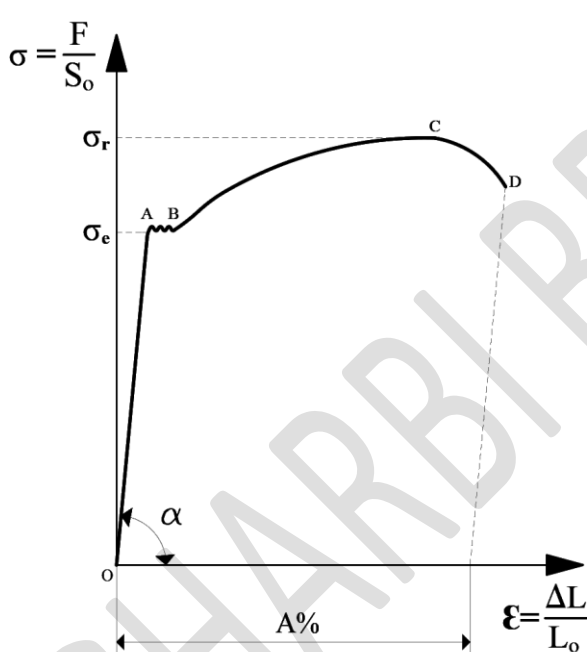


Fig. 6. Allure du diagramme conventionnel de traction d'un **acier doux**.

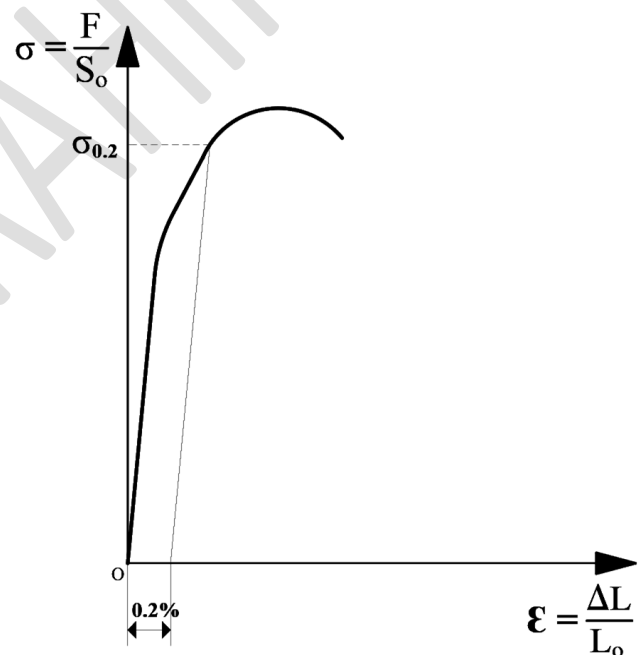


Fig. 7. Limite conventionnelle d'élasticité ' $\sigma_{0,2}$ '. d'un **acier très dur**.

NB : Vu que les diagrammes $F=f(\Delta L)$ et $\sigma = f(\epsilon)$ d'un même matériau ont la même allure, ils peuvent être construits en un seul diagramme en portant sur l'axe des ordonnées à la fois F et σ et sur l'axe des abscisses ΔL et ϵ avec les graduations correspondantes et les échelles appropriées. Ce diagramme combiné peut être obtenu par enregistrement automatique sur certaines machines d'essai.

A partir du diagramme $\sigma = f(\epsilon)$ (Fig. 6.) on définit les caractéristiques mécaniques essentielles suivantes :

1) Limite apparente d'élasticité ou Limite d'élasticité ' σ_e ' :

Par définition c'est la contrainte maximale pouvant être appliquée dans un essai de tension pure, tel qu'après suppression de la charge il ne subsiste aucune déformation permanente, $\sigma_e = F_e/S_0$ avec

F_e = charge à la limite apparente d'élasticité et S_0 = aire initiale de la section droite de l'éprouvette.

Parfois il n'est pas possible de situer le point **A** qui caractérise la fin de la période élastique. Dans ce cas la limite d'élasticité est définie d'une manière **conventionnelle : la limite conventionnelle d'élasticité**, notée par " $\sigma_{0,2}$ ", est la valeur de la contrainte qui donne un allongement permanent relatif égal à **0,2%** (Fig. 7.).

2) Résistance à la traction ou Résistance limite ou Résistance à la rupture " σ_r ":

Par définition c'est le quotient de la Force maximum F_m que peut supporter l'éprouvette par l'aire initiale S_0 de la section droite de l'éprouvette, $\sigma_r = F_m/S_0$.

C'est la plus forte contrainte supportée pendant l'essai mais n'est pas la contrainte de rupture de l'éprouvette.

3) Module d'élasticité longitudinale ou Module de Young ou coefficient de Hooke "E" :

Il caractérise la résistance que le matériau oppose à son allongement élastique.

Dans le diagramme $\sigma = f(\epsilon)$ (Fig. 6), la courbe **OA** a été remplacée d'une manière **approchée par une droite** très proche de l'axe des contraintes d'où la dépendance **linéaire** entre les contraintes et les déformations qui est exprimée par la loi de Hooke $\sigma = E \epsilon$; c'est une loi approchée formulée pour les allongements petits et pour la plupart des matériaux (voit point IV).

$$\Rightarrow E = \sigma/\epsilon = \text{tga} = \text{constante} = Fx L_0/S_0 \times \Delta L.$$

Comme **E** définit la pente de la droite de Hooke, il se détermine à partir du diagramme conventionnel de traction $\sigma = f(\epsilon)$ (Fig.8) comme suit :

On choisit deux points G et H sur la droite de Hooke et on calcule $E = (\sigma_G - \sigma_H) / (\epsilon_G - \epsilon_H)$

Remarque :

"E" élevé \Rightarrow matériau rigide (acier, iridium, diamant, ...),

"E" faible \Rightarrow matériau peu rigide c.à.d. souple, élastique ou flexible (caoutchouc, cuir, PVC, ...).

Pour les aciers "E" est compris entre 190000 et 220000 N/mm²,

Pour les fontes "E" est compris entre 90000 et 100000 N/mm².

4) Coefficient de Poisson "μ" :

L'expérience montre que dans le domaine élastique (ou dans des limites déterminées) l'allongement longitudinal de l'éprouvette s'opère avec amincissement transversal proportionnel, il en résulte alors :

$\epsilon_{\text{trans.}} = \mu \epsilon_{\text{long.}}$ avec :

- $\epsilon_{\text{trans.}} = \Delta d/d_0$ rétrécissement relatif transversal (Δd = diminution du diamètre de l'éprouvette, d_0 = diamètre initial de l'éprouvette),
- $\epsilon_{\text{long.}} = \Delta L/L_0$ allongement relatif longitudinal, (ΔL = augmentation de la longueur de l'éprouvette, L_0 = longueur initiale de l'éprouvette),
- $\mu = \epsilon_{\text{trans.}} / \epsilon_{\text{long.}}$ coefficient de proportionnalité sans dimension appelé coefficient de Poisson.

5) **Allongement pour cent après rupture ou allongement à la rupture "A%"** : par définition c'est la déformation résiduelle moyenne qui a lieu au moment de la rupture, rapportée à une longueur déterminée standard de l'éprouvette.

$$A\% = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100 \quad \text{avec : } L_0 = \text{Longueur initiale entre repères,}$$

L_u = Longueur ultime entre repères ou Longueur après rupture de l'éprouvette.

6) Coefficient de striction "Z%" :

$$Z\% = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100 \quad \text{avec : } S_0 = \text{aire de la section initiale de l'éprouvette,}$$

S_u = aire minimale de la section de l'éprouvette après rupture.

Remarque : L'allongement pour cent après rupture (**A%**) et le coefficient de striction (**Z%**) donnent des indications sur la ductilité et la fragilité d'un matériau :

- Plus **A%** (ou **Z%**) est élevé plus le matériau est ductile (le cuivre, l'aluminium, le laiton, l'acier doux, etc.),
- Plus **A%** (ou **Z%**) est faible plus le matériau est fragile (la fonte, le verre, la brique, les pierres, etc.).