

Procédés de fabrication I - IGI - HEIG-VD

Propriétés Mécanique des Matériaux

Résumé

3 octobre 2025

Objectifs du chapitre

Principales propriétés mécaniques :

Nom	Symbole	Unité
Le module d'élasticité	E	[GPa]
Le coefficient de Poisson	ν	[-]
Le coefficient d'écrouissage	n	[-]
Le module d'écrouissage	K	[MPa]
La limite élastique	R_e	[MPa]
La résistance à la traction	R_m	[MPa]
Le taux de déformation réel à la rupture	ε_{ult}	[-]
La dureté	HB, HV, HK	[kg/mm ²]
...	...	...

Généralités

Observation

Dans la plupart des procédés, la mise en forme de la matière première est basée sur les déformations plastiques. Exemple :

- formage des métaux : laminage, forgeage, extrusion, étirage,
- formage des feuilles : pliage, emboutissage, découpage,
- procédés de coupe (fraisage, perçage, décolletage).

Conséquence

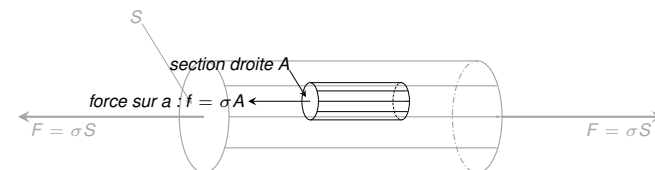
La planification puis l'optimisation des procédés de production cités plus haut est essentiellement conditionnée par les **propriétés mécaniques** du matériau à usiner.

Expérience de traction

La contrainte réelle

- La contrainte réelle σ est le rapport entre la force appliquée et la section droite courante de l'échantillon :

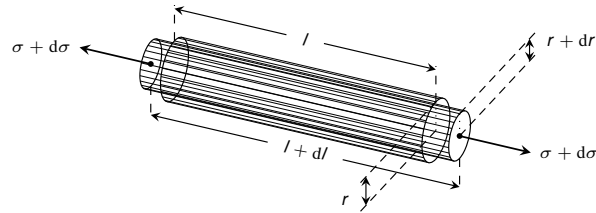
$$\sigma = \frac{F}{S}$$



- On l'appelle contrainte **réelle** car elle correspond à la distribution de contrainte physique à l'intérieur de l'échantillon.
- N'importe quelle section droite A à l'intérieur de l'échantillon est soumise à cette contrainte de la part du reste de l'échantillon.

Episode de traction microscopique

Variation des dimensions de l'échantillon en régime élastique



Siméon Poisson
(1781-1840)

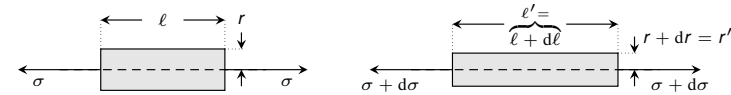
- **Loi de Hooke** E : module d'Young, unité GPa, une caractéristique du matériau :

$$\frac{dl}{l} \propto d\sigma \iff \frac{dl}{l} = A d\sigma \iff \frac{dl}{l} = \frac{d\sigma}{E} \iff dl = \frac{d\sigma}{E} l \iff l + dl = \left(1 + \frac{d\sigma}{E}\right) l$$

- **Loi de Poisson** ν coefficient de Poisson, unité -, une caractéristique du matériau :

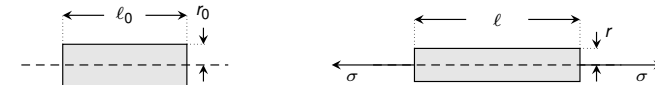
$$\frac{dr}{r} \propto d\sigma \iff \frac{dr}{r} = B d\sigma \iff \frac{dr}{r} = -\nu \frac{d\sigma}{E} \iff dr = -\nu \frac{d\sigma}{E} r \iff r + dr = \left(1 - \nu \frac{d\sigma}{E}\right) r$$

Episode microscopique (bilan) et macroscopique



- L'effet d'une très petite augmentation (**élastique** !) de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif : c'est une amplification d'un facteur > 1 pour la longueur et une réduction d'un facteur < 1 , pour le rayon

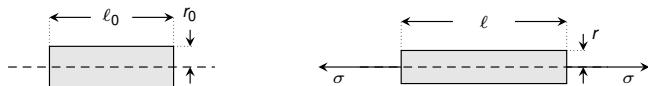
$$1 + \frac{1}{E} d\sigma \quad (\text{pr. la longu.}) \quad 1 - \frac{\nu}{E} d\sigma \quad (\text{pr. le rayon})$$



- La mise en traction macroscopique (σ) d'un échantillon peut être décomposé en une succession de n étapes où la contrainte est augmentée de σ/n à chaque fois. Les longueur et rayon finaux ℓ et r , au terme des n étapes, sont donc

$$\ell = \left(1 + \frac{1}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^n \ell_0 \quad \text{et} \quad r = \left(1 - \frac{\nu}{E} \frac{\sigma}{n}\right)^n r_0.$$

Episode macroscopique en élasticité



- On a trouvé le rapport des longueurs et des rayons mais cela n'est vrai que si $n \rightarrow \infty$

$$\frac{\ell}{\ell_0} = \left(1 + \frac{1}{n} \frac{\sigma}{E}\right)^n \implies \frac{\ell}{\ell_0} = e^{\frac{\sigma}{E}} \implies \frac{\sigma}{E} = \ln \frac{\ell}{\ell_0}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(1 - \frac{1}{n} \frac{\nu \sigma}{E}\right)^n \implies \frac{r}{r_0} = e^{-\nu \frac{\sigma}{E}}$$

- Pour exprimer σ en fonction des déformations, on prend le logarithme de la relation du haut. On pose ensuite $\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}$ (taux de déf. réel). la résolution pour σ donne :

$$\sigma = E \varepsilon \quad (\text{loi de Hooke}) \quad (1)$$

- Pour exprimer le rapport des dimensions latérales en fonction du taux de déformation, on utilise la loi de Hooke pour exprimer le rapport $\frac{\sigma}{E}$. On obtient ainsi la loi de Poisson :

$$\frac{r}{r_0} = e^{-\nu \varepsilon} \quad (2)$$

Lois de Hooke et de Poisson

- Les lois de Hooke et de Poisson sont

$$\sigma = E \varepsilon, \quad \frac{r}{r_0} = e^{-\nu \varepsilon}, \quad \frac{S}{S_0} = e^{-2\nu \varepsilon}, \quad \frac{V}{V_0} = e^{(1-2\nu) \varepsilon}. \quad (3)$$

- On prendra note que les lois de Hooke et de Poisson (3) ne sont valables que si

$$0 < \varepsilon < \varepsilon_e$$

où ε_e est le taux réel en deça duquel les déformations sont **élastiques** et au delà duquel elles sont **plastiques**.

- On appelle ε_e taux de déformation réel en limite élastique. Cette quantité est une caractéristique du matériau dont est fait l'échantillon mais pas seulement. Elle dépend de l'historique de déformation et peut être modifiée mécaniquement, c'est le phénomène d'écrouissage dont nous parlerons plus tard.

Taux de déf. nominale et loi de Hooke linéarisée

- Le taux de déformation réel $\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal :

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \quad (4)$$

- Vous avez peut-être vu la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ avec le taux nominal e à la place du taux réel ε :

$$\sigma = Ee, \quad e \leq e_e \quad (\text{loi de Hooke linéarisée})$$

- Comme $e \neq \varepsilon$, cette nouvelle loi ne peut être vraie qu'asymptotiquement lorsque e est très petit (car alors $\varepsilon \approx e$). Elle a un intérêt calculatoire : elle évite l'extraction d'un logarithme pour calculer le taux de déformation lorsque ℓ_0, ℓ sont connus.
- D'une manière générale, la loi de Hooke linéarisée sous-estime les déformations de la matière sous contrainte donnée et sur-estime les contraintes nécessaires à atteindre une déformation souhaitée (cf. exos).