

Série N° 6 — Semaine du 14 Octobre 2024

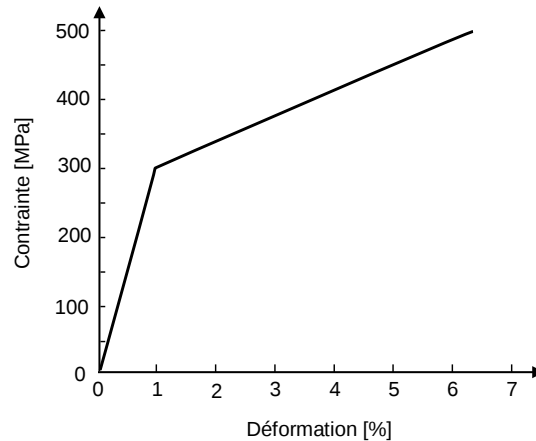
Elasticité/plasticité

1. Vrai ou faux ?

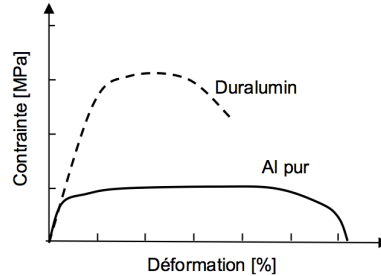
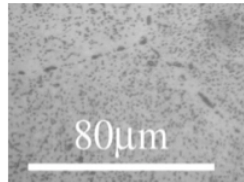
	Vrai	Faux
a. Plus un matériau est ductile, plus sa déformation résiduelle après la rupture est grande.	☐	☐
b. La limite d'élasticité est reliée au mouvement des défauts dans le métal, alors que le module d'Young dépend de la nature des liaisons entre les atomes.	☐	☐
c. Une fois la limite élastique dépassée, si on relâche une pièce sous contrainte, l'énergie élastique emmagasinée n'est pas restituée.	☐	☐
d. La plasticité des polymères juste au dessous de leur transition vitreuse est liée au mouvement des macromolécules et à l'apparition de craquelures.	☐	☐
e. Contrairement aux métaux qui sont des matériaux plutôt ductiles, les céramiques sont en général fragiles et cassent avant de se déformer plastiquement.	☐	☐
f. Pour une dislocation vis, le vecteur de Burgers est orthogonal à la ligne de dislocation	☐	☐
g. Un fakir de 60 kg peut tranquillement s'endormir sur un lit de 1000 clous (de surface de contact 0.3 mm^2 chacun) sans risquer de se percer la peau (résistance maximale de la peau : 2.5 MPa , l'accélération de la gravité $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$).	☐	☐

2. Comportement idéal élastique-plastique

On considère une éprouvette d'un matériau dont le comportement en traction est schématisé par la courbe ci-dessous. La section vaut $S = 10 \text{ mm}^2$, la longueur sur laquelle on applique la traction vaut $L = 10 \text{ cm}$. En vous aidant de cette figure, répondez aux questions suivantes :



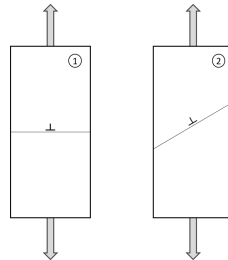
- Quel sont le module d'élasticité et la limite d'élasticité ?
 - Quel est le coefficient d'écrouissage ?
 - Quelle est la valeur de la déformation élastique quand la contrainte vaut 500 MPa ?
 - Le coefficient de Poisson de ce matériau valant 0.3, quelle est la variation de section pendant un chargement élastique jusqu'à 300 MPa ? Pour cela on prendra l'hypothèse que la section de l'échantillon est carrée de côté d .
 - Calculez la densité d'énergie de déformation sous ce chargement de 300MPa, ainsi que l'énergie de déformation.
 - On applique une contrainte de 450 MPa. Quelle est la déformation totale ? Et l'allongement total ?
 - Quelle est la densité d'énergie de déformation, à cette contrainte ?
 - Quelle sera alors la courbe contrainte-déformation lors de la décharge ? Quelle est la déformation résiduelle (plastique) à charge nulle ?
 - Quelle est la densité d'énergie élastique restituée ?
 - L'énergie étant conservée, où est passée la différence entre densité d'énergie totale de déformation et densité d'énergie élastique restituée ?
 - Le volume de la pièce est-il alors changé ?
 - Si l'on rechargeait une nouvelle fois cette pièce, quelle serait alors sa limite d'élasticité ?
3. **Durcissement de l'aluminium**
- On donne ci-dessous 2 courbes obtenues en traction uniaxiale pour de l'aluminium pur et du Duralumin, un alliage d'aluminium contenant environ 4% en masse de cuivre, qui a la microstructure après traitement thermique comme indiquée sur la photo (gris clair : Al , points gris foncés : Al_2Cu).



- Lequel des 2 alliages a la plus grande ductilité ?
- Lequel des deux alliages a la limite d'élasticité la plus élevée ?
- Lequel des deux alliages a le plus grand module de Young ?
- Citez les 4 mécanismes possibles de durcissement pour l'alliage d'aluminium.

4. Quelques questions sur la plasticité (pour vous faire réfléchir...)

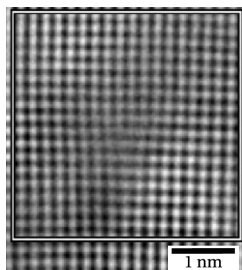
- Une pièce métallique est soumise à une contrainte de traction. Ci-dessous, sont représentés deux cas de figure.



Est-ce que la dislocation coin dans le cas 1 peut se déplacer sous l'action de la contrainte appliquée et, si oui, dans quelle direction ? Même question pour le cas 2.

Dans le/les cas où la dislocation peut se déplacer, représentez la forme finale schématique de la pièce une fois que la dislocation a émergé par une des faces de la pièce.

- L'image suivante montre une micrographie d'un échantillon d'or prise par microscopie électronique en transmission en mode haute résolution. Localisez la dislocation présente dans la zone encadrée. De quel type de dislocation s'agit-il ? Dessinez son vecteur de Burgers.



C.W. Zhao *et al.*, Acta Materialia 56, 2008.

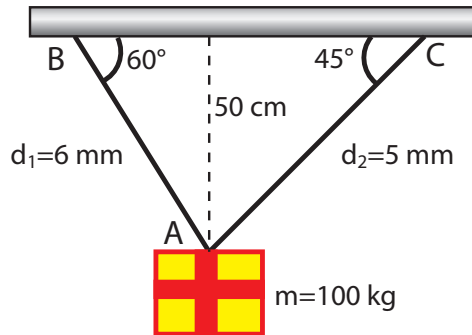
- c. En repensant à la courbe de traction d'un polymère au dessus de sa transition vitreuse, si je choisis un polymère qui a déjà été étiré au préalable pendant la mise en oeuvre, de façon à aligner les chaînes de macromolécules le long de l'axe de l'échantillon (comme pour des cables de HDPE), est-ce que sa ductilité sera plus grande ou plus petite que celle d'un polymère dont les chaînes sont en pelotes non orientées ?
- d. La limite d'élasticité du cuivre, comme pour la plupart des métaux *cfc*, est basse. Si l'on ajoute 10%at. de nickel en solution solide, la résistance augmente de 80 MPa. De combien pourrait-on augmenter cette résistance si la quantité de nickel en solution est de 20%at. ?
- e. Après laminage (déformation plastique) à froid, un morceau d'aluminium pur contient environ 1×10^{15} mètres de dislocations par mètre cube de matériau. Combien y a-t-il de mètres de dislocations dans un cube d'aluminium de 1 cm de côté ? Sachant que la circonférence de la terre est 40 075 km à l'équateur, combien de fois pourrait on faire le tour de la terre si on pouvait dérouler et mettre bout à bout les dislocations présentes dans ce petit cube ? Quelle est la distance moyenne entre 2 dislocations, si elles sont réparties de manière homogène ?
- f. Calculez la nouvelle limite d'élasticité du métal écroui mentionné à la question précédente, sachant que celle de l'aluminium non déformé est de 30 MPa et que le durcissement est donné par

$$\Delta\sigma_Y^{ec} = K_e G b \sqrt{\rho_d}$$

où $K_e = 1.25$ est un coefficient de proportionnalité, $G = 26$ GPa est le module de cisaillement de l'Aluminium, $b = 2.86$ Å la norme du vecteur de Burgers et ρ_d la densité de dislocations, c'est-à-dire la longueur totale de dislocations par unité de volume.

5. **Exercice bonus : Paquet suspendu par deux fils (exercice de mécanique, qui fait le lien avec les propriétés de rigidité et limite d'élasticité d'un matériau)**

Deux fils de nylon AB et AC , respectivement de diamètre d_1 et d_2 , soutiennent une masse m (voir dessin).



- Calculez la contrainte (normale à leur section) qui s'exerce dans chacun des fils (on négligera leurs poids) .
- Quel est l'allongement mesuré dans chaque fil (sachant que pour le nylon, $E = 3 \text{ GPa}$, $\nu = 0.35$).
- Sachant que la limite d'élasticité du nylon est de 45 MPa, déterminez la masse maximale que ces fils peuvent soutenir sans subir de déformation plastique dans aucun des fils.

6. Solution à certaines des questions

- Question 4d Réponse : $\Delta\sigma_{20\%Ni} = 113 \text{ MPa}$, Question 4e Réponse : 25 fois le tour de la terre, distance moyenne : 31 nanomètres, Question 4f Réponse : 324 MPa
- Question 5a Réponse : 25.4 MPa et 25.9 MPa., Question 5b Réponse : 0.49 et 0.61 cm Question 5c Réponse : 174.0 kg