

1^{er} semestre – Module M1104 : Propriétés des Matériaux – durée 1h

Documents & calculatrices programmables non autorisés

NOM :**Prénom :****Groupe :****Questions de cours (4 points)**

1. Citer 3 matériaux céramiques. (1 pt)

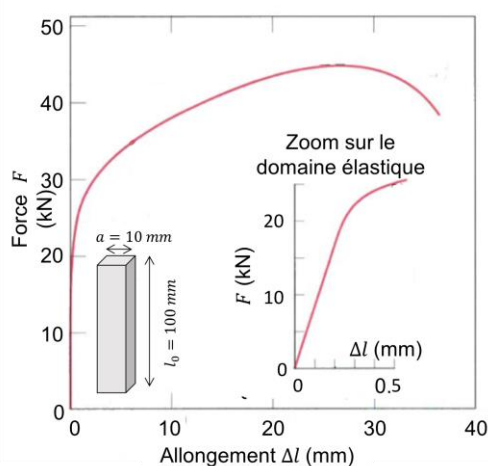
Diamant, Verre, Ciment, Béton, Graphite, Glace, etc.

2. On dispose des matériaux aux caractéristiques suivantes : Mat1 (
- $E = 70$
- GPa,
- $R_e = 50$
- MPa,
- $\varepsilon_R = 30\%$
-), Mat2 (
- $E = 20$
- GPa,
- $R_e = 200$
- MPa,
- $\varepsilon_R = 40\%$
-), Mat3 (
- $E = 3$
- GPa,
- $R_e = 15$
- MPa,
- $\varepsilon_R = 45\%$
-). Lequel des 3 est-il le plus résistant ? Lequel est-il le moins fragile ? Justifiez vos réponses. (1,5 pt)

Le plus résistant est Mat2 car il a le R_e le plus élevé.Le moins fragile est Mat3 car il a le ε_R le plus élevé.

3. Par quel mécanisme atomique l'écrouissage permet-il de durcir un métal ? (1,5 pt)

L'écrouissage entraîne une multiplication des dislocations, qui se gênent mutuellement, ce qui limite leurs mouvements, et durcit le métal.

**Propriétés mécaniques (7 points)**

Les propriétés mécaniques d'un acier et d'un alliage d'aluminium sont données dans le tableau ci-dessous. On dispose de laiton dont on a une courbe de traction obtenue à partir d'une éprouvette de section carrée (largeur initiale de 10 mm, longueur initiale de référence de 100 mm).

Matériau	E (GPa)	R_e (MPa)	R_m (MPa)	ν
Acier	207	400	550	0,27
Alliage d'aluminium	70	190	420	0,33
Laiton	80 à 100	200	450	0,35

E est le module de Young, R_e est la limite d'élasticité, R_m est la résistance en traction et ν est le coefficient de Poisson.

1. Déterminer, en détaillant le calcul, les valeurs de
- E
- ,
- R_e
- et
- R_m
- du laiton et les reporter dans le tableau. (2 pts)

$$E = (20\,000 / (10 \cdot 10^{-3})^2) / (0,25 / 100) \text{ Pa} = 80 \text{ GPa}$$

(NB : selon ce qu'on lit sur le graphique, on peut trouver entre 80 et 100 GPa)

$$R_e = 20\,000 / (10 \cdot 10^{-3})^2 \text{ Pa} = 200 \text{ MPa}$$

$$R_m = 45\,000 / (10 \cdot 10^{-3})^2 \text{ Pa} = 450 \text{ MPa}$$

2. Pour l'acier considéré, donner les valeurs maximales de déformations longitudinales ε_l et transversales ε_t dans le domaine de déformation élastique. (2,5 pts)

$$\varepsilon_l = R_e/E = 0,19 \%$$

$$\varepsilon_t = \nu \varepsilon_l = 0,05\%$$

3. On souhaite trouver le matériau qui permettra de créer un barreau cylindrique de diamètre d_0 de 10 mm, de longueur 10 cm, qui, lorsqu'il est soumis à une force de traction longitudinale F de 20 kN, ne se déformera pas plastiquement, et dont la diminution du diamètre n'excèdera pas $5,5 \cdot 10^{-3}$ mm. Compte tenu des conditions imposées, quel(s) matériau(x), parmi les trois étudiés dans les questions 1 et 2, pourrai(en)t convenir à la réalisation du barreau cylindrique. Justifier. (2,5 pts)

On veut $R_e > F/(\pi d_0^2/4) \approx 254$ MPa, donc seul l'acier a une chance de convenir.

Compte tenu du module d'Young on aurait : $\varepsilon_l = F/(\pi d^2/4)/E = 0,12\%$ et donc $\varepsilon_t = 0,033\%$, ce qui donne une diminution de diamètre de $3,3 \cdot 10^{-3}$ mm, ce qui est bien inférieur à $5,5 \cdot 10^{-3}$ mm. Donc l'acier convient.

Liaisons chimiques (4 points)

Le **germanium** est un semi-conducteur et cristallise avec la même structure que le diamant. La configuration électronique de l'atome de germanium (Ge) est $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$.

1. Quel type de liaison assure la cohésion entre les atomes dans le germanium cristallin ? (1pt)

Liaison covalente.

2. Que devient la configuration électronique du Ge une fois la liaison formée ? (1pt)



3. Quelle est la valence du Ge ? (1 pt)

Valence : 4

4. De quelle classe de matériaux fait partie le Ge cristallin ? (1 pt)

Céramique

Cristallographie et défauts (5 points)

Lorsqu'on le chauffe, le fer subit une transformation allotropique à 912 °C en passant du système cubique centré (cc) au système cubique à faces centrées (cfc). Connaissant les rayons respectifs des atomes de fer cc (r_{cc}) et cfc (r_{cfc}), et la masse molaire du fer M_{Fe} , calculer les masses volumiques du fer dans les deux configurations, et donnez la variation relative de masse volumique lors de la transformation. (3 pts)

A.N. : $r_{cc} = 0,124$ nm; $r_{cfc} = 0,127$ nm ; $M_{Fe} = 55,85$ g/mol ; $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ at.mol⁻¹.

Pour le cristal cubique centré : $4r = \sqrt{3}a$ (où a est le paramètre de maille).

Comme $r_{cc} = 0,124$ nm on a $a = 0,286$ nm d'où un volume de maille élémentaire $a^3 = 2,35 \cdot 10^{-29}$ m³

La maille élémentaire comporte : $n = 1 + 8 \cdot 1/8 = 2$ atomes.

On en déduit $\rho = n (M_{Fe} / N_A) / a^3 = 7,90 \cdot 10^3$ kg/m³

Pour le cristal cubique face centré : $4r = \sqrt{2}a$ (où a est le paramètre de maille).

Comme $r_{cfc} = 0,127$ nm on a $a = 0,359$ nm d'où un volume de maille élémentaire $a^3 = 4,63 \cdot 10^{-29}$ m³

La maille élémentaire comporte : $n = 6 \cdot 1/2 + 8 \cdot 1/8 = 4$ atomes.

On en déduit $\rho = n (M_{\text{Fe}} / N_A) / a^3 = 8,00 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

La variation relative lors de la transformation est donc de $0,10/7,90 \cdot 100 = 1,25 \%$

On a fabriqué du bronze en introduisant une concentration X d'étain dans du cuivre. La limite élastique en cisaillement du cuivre pur est τ_C . On remarque que la limite élastique en cisaillement du bronze ainsi constitué est de 294 MPa. Quelle concentration X d'étain a-t-on introduit ? On rappelle que l'augmentation de la limite élastique en cisaillement vaut $\tau_S = \alpha G \delta X^{1/2}$, avec α un paramètre géométrique, G le module de Coulomb du matériau et δ la différence de taille relative des atomes. On connaît le rayon atomique du cuivre r_{Cu} , celui de l'étain r_{Sn} et le module de Coulomb G du cuivre. (2 pts)

A.N. : $\tau_C = 15 \text{ MPa}$; $r_{\text{Cu}} = 0,128 \text{ nm}$; $r_{\text{Sn}} = 0,145 \text{ nm}$; $G = 21 \text{ GPa}$; $\alpha = 1$.

On a :

$$R_e = \tau_C + \tau_S$$

$$\delta = (r_{\text{Sn}} - r_{\text{Cu}}) / r_{\text{Cu}}$$

$$\text{D'où : } X = \left(\frac{R_e - \tau_C}{\alpha G \delta} \right)^2 = 1\%$$