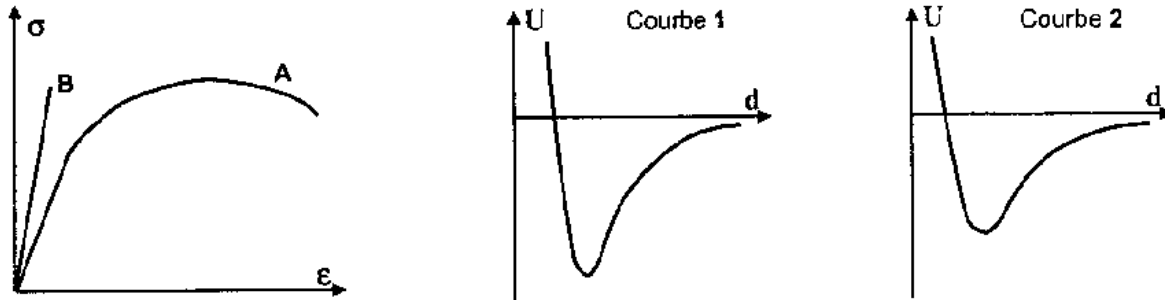


### Exercice n° 1

Les courbes de traction de ceux matériaux **A** et **B** sont schématiquement représentées ci-dessous. Chacun de ces matériaux est constitué d'atomes identiques. Le module d'Young de ces matériaux est supérieur à 60 GPa.

Deux courbes **1** et **2**, schématisant la variation de l'énergie interne  $\bar{U}$  d'un matériau en fonction de la distance  $d$  entre ses atomes, sont aussi données ci-dessous (l'échelle des axes  $\bar{U}$  et  $d$  est la même pour les deux courbes).



- Que peut-on dire du comportement en traction de chacun des matériaux ? Justifiez votre réponse. (2 pts)
- Quel matériau a le module d'Young le plus élevé ? Justifiez votre réponse. (1 pt)
- Associez l'une des courbes  $\bar{U} = f(d)$  à chacun des matériaux **A** et **B**. Justifiez votre réponse. (1 pt)
- Quel matériau a la température de vaporisation la plus élevée ? Justifiez votre réponse. (1 pt)
- Quel matériau a le coefficient de dilatation linéique le plus élevé ? Justifiez votre réponse. (1 pt)
- Quelle est la nature des liaisons dans chacun de ces matériaux ? (1 pt)

### Exercice n° 2

Voici quelques caractéristiques du fer (Fe) à la température ambiante (20 °C).

Structure cristalline cubique centrée (C.C.)

Paramètre de maille  $a = 0,287$  nm.

Masse molaire  $A_{Fe} = 55,85$  g/mole

Nombre d'Avogadro  $N_A = 6,022 \times 10^{23}$  atomes/mole

- Quels sont les indices de Miller de la famille de plans de plus grande densité atomique dans le fer ? (1 pt)
- Quels sont les indices de la famille de directions de plus grande densité atomique dans le fer ? (1 pt)
- Quelle est la compacité du fer ? Justifiez votre réponse par des calculs appropriés. (2 pts)
- Quelle est la masse volumique théorique  $\rho$  du fer (en  $g/cm^3$ ) ? (2 pts)
- Combien y a-t-il de sites octaédriques appartenant en propre à la maille CC du fer ? Justifiez votre réponse. (1 pt)

**Exercice n° 3**

On réalise des essais de traction sur un monocristal de fer de section carrée (5 mm x 5 mm). La cission critique de glissement  $\tau^*$  du fer est égale à 26,5 MPa. Vous disposez aussi de certaines caractéristiques du fer données à l'exercice précédent.

- a) Donnez les indices d'un système particulier de glissement du fer ? (1 pt)
- b) Quelle est la longueur du vecteur de Burgers des dislocations dans le fer ? (1 pt)

L'orientation du monocristal par rapport à l'axe de traction est telle que deux systèmes de glissement **A** et **B** peuvent être activés. Ces systèmes sont caractérisés par les angles  $\theta$  et  $\chi$  définis par rapport à l'axe de traction :

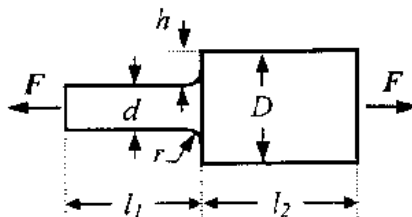
Système de glissement	Angle caractéristique (°)	
	$\theta$	$\chi$
A	48	32
B	38	56

- c) Dans quel système de glissement apparaîtront les premiers signes de glissement irréversible du monocristal ? Justifiez quantitativement votre réponse. (2 pts)
- d) Pour quelle valeur (en N) de la force de traction  $F$ , appliquée au monocristal, apparaîtront ces signes de glissement irréversible ? (1 pt)
- e) Que se passe-t-il physiquement dans le monocristal quand les premiers signes de glissement irréversible apparaissent ? (1 pt)

**Exercice n° 4**

Une pièce d'alliage d'aluminium est faite de deux parties cylindriques coaxiales, ayant des diamètres  $D$  et  $d$  différents et raccordées par un congé de rayon de courbure  $r$  ; le schéma de cette pièce et ses dimensions (en cm) sont représentés ci-dessous. La pièce est soumise à une force de traction égale à 432 kN. L'alliage d'aluminium a les propriétés mécaniques suivantes :

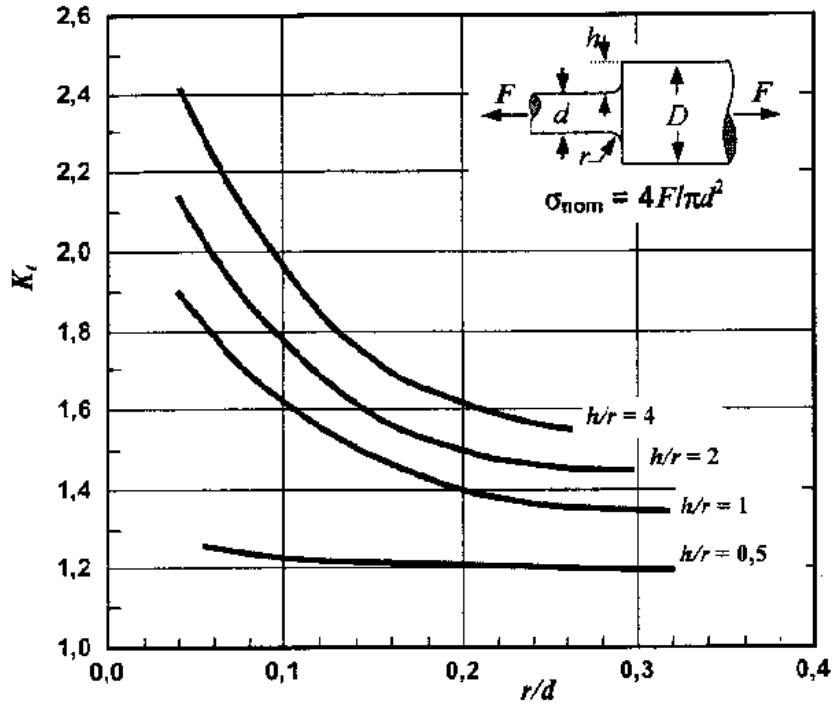
$E = 70 \text{ GPa}$        $R_{e0,2} = 392 \text{ MPa}$        $R_m = 475 \text{ MPa}$        $A = 10\%$



Dimensions exprimées en cm  
 $l_1 = 15$        $l_2 = 20$   
 $d = 5$        $D = 7$

- a) Si l'on fait abstraction de la zone du congé et que l'on considère la pièce comme étant formée de deux cylindres de diamètre  $D$  et  $d$ , quelle est l'énergie élastique  $W_{el}$  (exprimée en kJ) emmagasinée dans la pièce sous traction ? (2 pts)

- b) Quelle doit être la valeur minimale du rayon de courbure  $r$  (en mm) pour que tous les éléments de volume de cette pièce restent soumis à une contrainte purement élastique sous l'effet de la force  $F$ ? (3 pts)



Pour l'équipe de professeurs, le coordonnateur: Jean-Paul Bailon

Sous-total : 3 pts  
Total : 25 pts

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)]$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)]$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)]$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

$$R_{th} = \sqrt{\frac{2E\gamma_s}{a_0}}$$

$$- \frac{y}{b} \frac{z}{c}$$

**1. EXERCICE n° 1**

**1.a) Comportement de chacun des matériaux**

Justification :

**Matériau A** : Comportement **DUCTILE** car il subit une déformation plastique permanente avant de se rompre.

(2 pts)

**Matériau B** : comportement **FRAGILE** car sa rupture se produit alors qu'il est en régime de déformation purement élastique.

**1.b) Matériau ayant le module d'Young le plus élevé**

Justification :

Le module d'Young est égal à la pente du domaine élastique de la courbe de traction. C'est donc le matériau **B** qui a le module d'Young le plus élevé.

**Matériau : B**

(1 pt)

**1.c) Courbe  $U = f(d)$  associée à chacun des matériaux.**

Justification :

Le module d'Young du matériau est inversement proportionnel au rayon de courbure de la courbe  $U = f(d)$  à son minimum. La courbe  $U = f(d)$  sera d'autant plus « pointue » que ce rayon de courbure est petit. La courbe **1** est donc associée au matériau **B** et la courbe **2** au matériau **A**.

**A : 2**

(1 pt)

**B : 1**

**1.d) Matériau ayant la température de vaporisation la plus élevée**

Justification :

La température de vaporisation est proportionnelle à la profondeur du puits de potentiel de la courbe  $U = f(d)$ . Elle est aussi proportionnelle au module d'Young du matériau. C'est donc le matériau **B** qui a la température de vaporisation la plus élevée (courbe **1**).

**Matériau : B**

(1 pt)

**1.e) Matériau ayant le coefficient de dilatation linéique le plus élevé**

Justification :

Plus la courbe  $U = f(d)$  est évasée et dissymétrique par rapport à la verticale passant par son minimum, plus le coefficient de dilatation linéique du matériau est élevé. C'est donc le matériau **A** qui a le coefficient de dilatation linéique le plus élevé (courbe **2**).

**Matériau : A**

(1 pt)

Sous-total = 6 pts

**1.f) Nature des liaisons dans chacun des matériaux**

Dans les cases appropriées, inscrivez la lettre (A ou B) correspondant à votre choix et justifiez vos réponses:

Puisque le module d'Young des matériaux A et B est supérieur à 60 GPa, ce ne peut être des matériaux ayant des liaisons de faible intensité (Pont H<sub>2</sub> ou van der Waals), tels que les gaz rares solides, les polymères ou la glace.

Dans les matériaux ayant des liaisons de forte intensité, seuls les métaux peuvent présenter une grande ductilité grâce à la mobilité des dislocations caractéristiques des métaux. Le matériau **A** a donc des **liaisons métalliques**. (1 pt)

Comme le matériau **B** est constitué d'atomes de même nature, ce ne peut être qu'un maté- à **liaisons covalentes**, puisque la liaison ionique implique des atomes (ions) de nature différente.

Type de liaisons				
Métallique	Ionique	Covalent	Pont H <sub>2</sub>	Van der Waals
<b>A</b>		<b>B</b>		

**2. Exercice n° 2**

**2.a) Indices de Miller de la famille de plans de plus grande densité atomique dans le fer**

Indices : **{110}** (1 pt)

**2.b) Indices de la famille de directions de plus grande densité atomique dans le fer**

Les directions de plus grande densité atomique sont les grandes diagonales de la maille CC

Indices : **<111>** (1 pt)

**2.c) Compacité du fer**

Justification :

La maille CC contient 2 atomes en propres ( $8 \times 1/8 + 1 = 2$ ). Ces atomes se touchent le long de la grande diagonale du cube, donc ils ont un rayon  $r$  tel que  $a\sqrt{3} = 4r \rightarrow$  Rayon des atomes :  $r = a\sqrt{3}/4$ .

Volume  $V_a$  occupé par les atomes :  $V_a = 2 \left( \frac{4}{3} \pi r^3 \right) = \frac{\pi a^3 \sqrt{3}}{8}$

Volume de la maille  $V_m = a^3 \rightarrow$  Compacité =  $V_a/V_m = \pi\sqrt{3}/8$

Compacité : **68%** (2 pts)

**2.d) Masse volumique théorique du fer**

Justification :

Masse des 2 atomes de Fe appartenant en propre à la maille CC :  $m = 2A_{Fe}/N_A = \frac{2 \times 55,85 \text{ g/mole}}{6,022 \times 10^{23} \text{ at/mole}}$

Volume de la maille (en cm<sup>3</sup>) :  $V_m = a^3 = (0,287 \times 10^{-7})^3 \text{ cm}^3 = 2,364 \times 10^{-23} \text{ cm}^3$

Masse volumique =  $m/V_m = 7,846 \text{ g/cm}^3$

$\rho = 7,846 \text{ g/cm}^3$  (2 pts)

**2.e) Nombre de sites octaédriques par maille CC du fer**

Justification :

Les sites octaédriques de la maille CC sont localisés au centre des faces de la maille et au milieu des arêtes de cette maille. Il y a donc :  $[(6 \times 1/2) + (12 \times 1/4)] = 6$  sites par maille.

**N = 6** (1 pt)

**3. Exercice n° 3**

**3.a) Indices d'un système particulier de glissement du fer**

Un système de glissement est formé d'une direction de glissement de plus grande densité atomique (voir 2b ci-dessus) appartenant à un plan de plus grande densité atomique (voir 2a ci-dessus). Par exemple, si l'on considère le plan (110) :

(1 pt)

**3.b) Longueur du vecteur de Burgers dans le fer**

Dans les métaux, le vecteur de Burgers est égal à la distance interatomique, soit  $a\sqrt{3}/2$  dans la maille CC :  $\rightarrow |\vec{b}| = a\sqrt{3}/2 = 0,287\sqrt{3}/2 \text{ nm} = 0,2485 \text{ nm}$

**b = 0,2485 nm**

(1 pt)

**3.c) Système où apparaissent les premiers signes de glissement**

Justification :

Le glissement apparaît dans le système activé par la contrainte nominale  $\sigma_{\text{nom}}$  la plus faible, donc pour celui qui a le facteur de Schmid  $S = (\cos\theta \cdot \cos\chi)$  le plus élevé car :  $\sigma_{\text{nom}} = \tau^* / \cos\theta \cdot \cos\chi$ .

Facteur de Schmid du système A :  $S_A = \cos\theta \cdot \cos\chi = (\cos 48^\circ)(\cos 32^\circ) = 0,567$

Facteur de Schmid du système B :

(2 pts)

**3.d) Force pour laquelle apparaissent les premiers signes de glissement**

Justification :

**Force = 1167 N**

(1 pt)

**3.e) Phénomène physique quand apparaissent les premiers signes de glissement**

Justification :

(1 pt)