

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2024

Note au sujet de la propriété intellectuelle des modèles d'examen de l'Ordre des ingénieurs du Québec

Les modèles d'examen se trouvant sur le site internet de l'Ordre des ingénieurs du Québec sont la propriété exclusive de l'Ordre et leur utilisation est strictement limitée à des fins académiques et personnelles. Toute reproduction, distribution ou utilisation commerciale non autorisée de ces modèles constitue une violation de la propriété intellectuelle et est strictement interdite. L'Ordre se réserve le droit de prendre toutes les mesures légales appropriées contre toute utilisation non autorisée de ses modèles d'examen.

Toute documentation permise

Calculatrices : modèles autorisés seulement

Durée de l'examen : 3 heures

Nombre de pages : 8

20-MB-B8 PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX

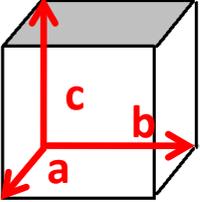
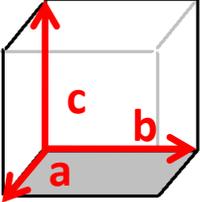
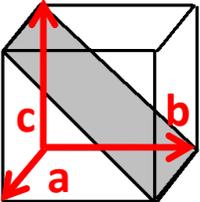
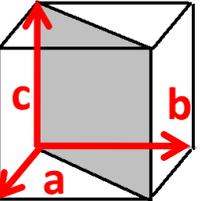
Question 1 (12 points) : On réalise un essai de traction sur une éprouvette de magnésium polycristallin (Mg). Cette éprouvette a les dimensions suivantes : Section rectangulaire $S_0 = (3,2 \times 19,1) \text{ mm}^2$ et longueur initiale de référence $L_0 = 63,5 \text{ mm}$.

Au cours de l'essai de traction, on fait les observations suivantes :

- La déformation plastique s'amorce lorsque la force F appliquée à l'éprouvette atteint **7430N** et que la longueur de référence est égale à **63,7 mm**.
- Sous une force F égale à **9100 N**, l'allongement de la longueur de référence est égal à **0,4 mm**.
- Si on décharge l'éprouvette à partir de cette force $F = 9100 \text{ N}$, il y a un allongement permanent de l'éprouvette égal à **0,127 mm**.
- La valeur maximale atteinte par la force F au cours de l'essai de traction est égale à **14430N**.
- La rupture de l'éprouvette a lieu sous une force $F = 12\,500 \text{ N}$, alors que l'allongement de l'éprouvette a atteint **9,9 mm**.

- a) Quelle est la valeur du module d'Young E (en **GPa**) du Mg? (2pts)
 - b) Quelle est la limite proportionnelle d'élasticité R_e (en **MPa**) du Mg ? (2pts)
 - c) Quelle est la limite conventionnelle d'élasticité $R_{e0,2}$ (en **MPa**) du Mg ? (2pts)
 - d) Quelle est la résistance à la traction R_m (en **MPa**) du Mg ? (2pts)
 - e) Quelle est la valeur de la déformation permanente A (en **%**) après rupture de l'éprouvette ? (2pts)
 - f) Calculez l'énergie élastique $W_{\text{é1}}$ (en **J/m³**) emmagasinée dans l'éprouvette lorsque la limite conventionnelle d'élasticité $R_{e0,2}$ a été atteinte. (2pts)
-

Question 2 (4 points) : Indiquer les indices de Miller des plans cristallographiques en gris

	h	k	L
			
			
			
			

Question 3 (10 points) : À la température ambiante, la forme d'équilibre d'un métal donné est sous une forme dite β , dont la maille cristalline est représentée à la Figure 1. La masse atomique de ce métal est égale à 118,7 g/mole et le Nombre d'Avogadro $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$.

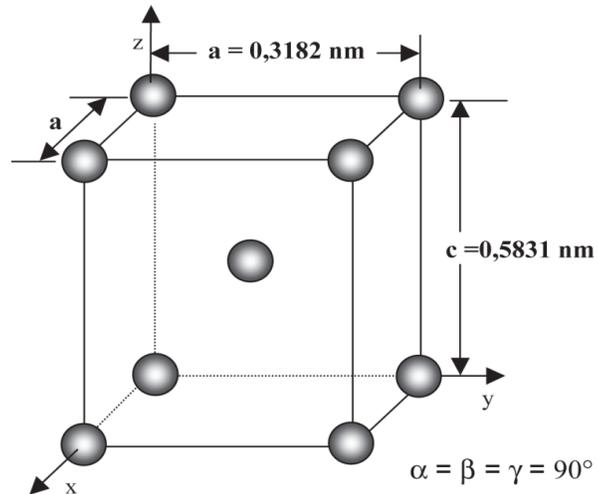


Figure 1 : Maille cristalline de la forme β d'un cristal monoatomique

- Quel est le système cristallin de ce métal ? *Justifiez votre réponse* (2pts)
- Quel est son réseau de Bravais ? *Justifiez votre réponse* (2pts)
- Quel est le motif ET le nombre de motifs par maille de cette structure β ? *Justifiez votre réponse* (3pts)
- Quelle est la masse volumique théorique ρ (en g/cm^3) de cette structure β ? *Justifiez votre réponse* (3pts)

Question 4 (10 points) : La Figure 2 ci-dessous représente le diagramme de phase binaire d'un alliage AB

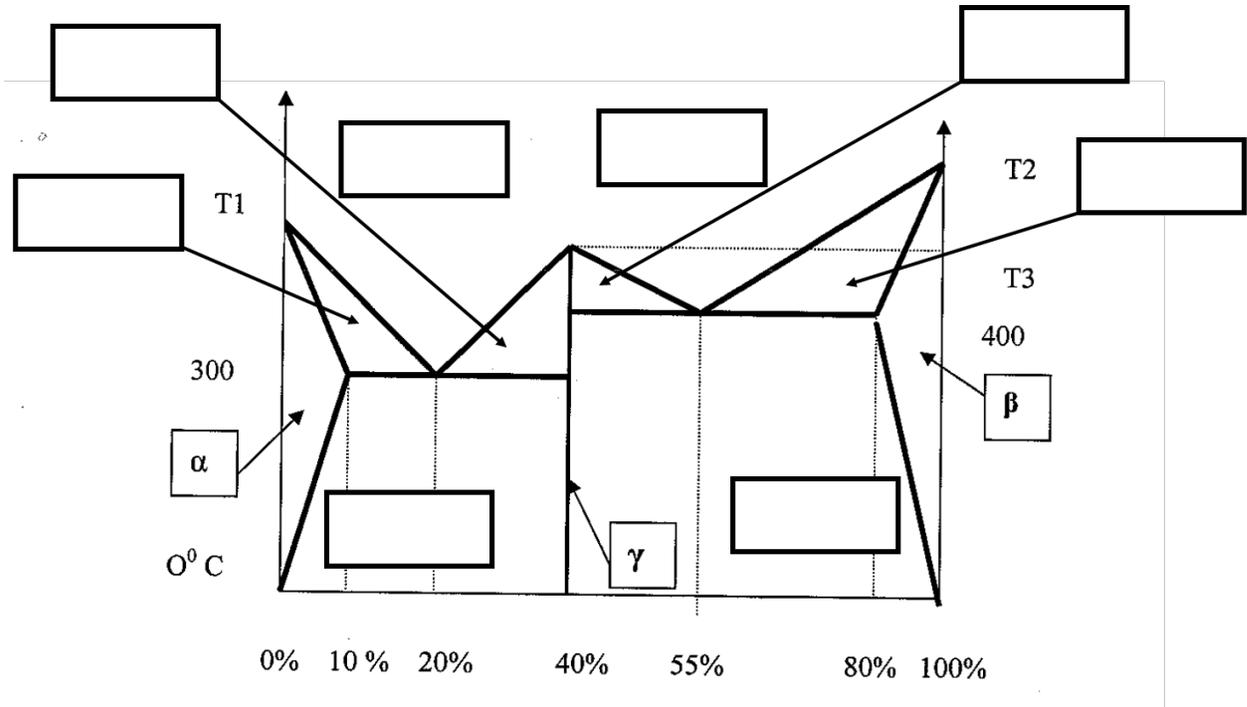


Figure 2 : Diagramme de phases d'un alliage A/B (Température vs. % massique de B)

Données : $T_1=700^\circ\text{C}$; $T_2=900^\circ\text{C}$; $T_3=800^\circ\text{C}$; Températures des deux eutectiques sont de 300°C et 400°C respectivement.

- Compléter directement le diagramme de la Figure 2 en indiquant les différentes phases présentes (4pts)
- Que représentent les températures T_1 et T_2 dans ce diagramme ? (2pts)
- Calculer la proportion et les concentrations de chacune des phases pour un alliage à 20% de B à $299,9^\circ\text{C}$ (4pts)

Question 5 (10 points) : La cuve d'une centrale nucléaire est un gros composant en acier situé au cœur du réacteur. Le cœur du réacteur est refroidi par l'eau du circuit primaire dont la pression est égale à 155 fois la pression atmosphérique. Cette eau entre dans la cuve à une température de l'ordre de 290 °C et en ressort à environ 325 °C en évacuant l'énergie thermique produite dans le cœur. La cuve d'un réacteur à eau sous pression est donc soumise aux conditions de pression et de température du circuit primaire, ainsi qu'à l'irradiation neutronique engendrée par les réactions nucléaires qui se produisent dans le cœur. Son suivi en service fait l'objet de dispositions de contrôle particulièrement exigeantes. La Figure 3 présente la courbe de résilience (énergie absorbée) en fonction de la température de l'acier utilisé pour la fabrication des cuves.

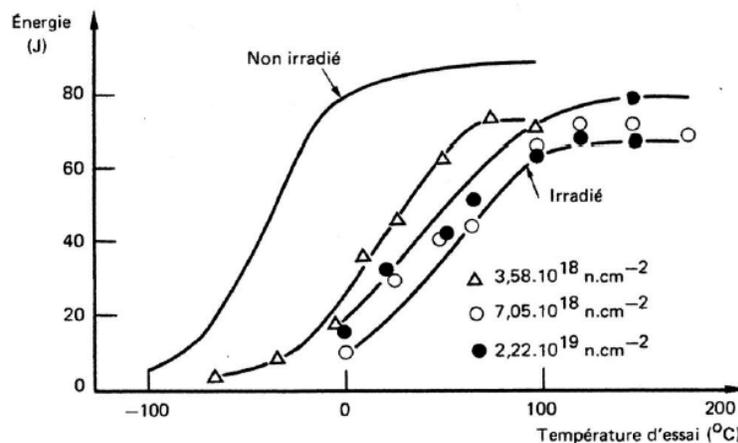


Figure 3 : Évolution de la résilience avec l'irradiation neutronique à 290°C au bout d'un temps d'irradiation identique ($n.cm^{-2}$ = neutrons par cm^2)

- Quelle caractéristique mécanique du matériau obtient-on à partir de cette courbe? (1pt)
- Quelle est l'effet de l'irradiation sur la caractéristique mécanique du matériau décrite à la question a)? (1pt)
- Quelle risque voyez-vous ? (1pt)
- Contenu du risque évoqué à la question c), quelle doit être la température de la cuve pour un fonctionnement sécuritaire ? (1pt)
- Compléter le Tableau 1 ci-dessous en indiquant la température de transition ductile-fragile pour le matériau non irradié et irradié à $3,58 \times 10^{18}$, $7,05 \times 10^{18}$, $2,2 \times 10^{19} n.cm^{-2}$ respectivement ? (2pts)

Tableau 1

Irradiation (n.cm⁻²)	Transition en °C (tolérance +/- 5 °C)
Acier Non Irradié (NI)	
3,58x10 ¹⁸ (I _{basse})	
7,05x10 ¹⁸ (I _{moyenne})	
2,2x10 ¹⁹ (I _{élevée})	

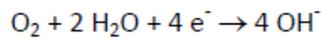
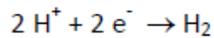
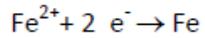
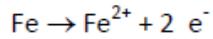
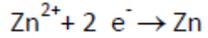
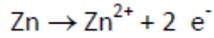
f) Pour des raisons de sécurité on considère que la température de la cuve doit toujours être supérieure à la température de transition ductile-fragile de l'acier d'au moins 50°C. Sachant qu'en service la température de la cuve est de 285°C, quelle est la température de transition ductile-fragile maximale à partir de laquelle la cuve ne pourra plus être utilisée ? (1pt)

g) En moyenne tous les 10 ans les réacteurs sont arrêtés et refroidis pour inspection. Or, après 20 ans en service, on observe que la courbe de résilience de l'acier est celle de la Figure 3 pour l'irradiation neutronique maximale (i.e. 2,22x10¹⁹ n.cm⁻²).

g1) Quel est le danger auquel on s'expose lors de l'arrêt ? (1pt)

g2) Quelle précaution suggériez-vous pour éviter tout risque lors de l'arrêt pour maintenance ? (2pts)

Question 6 (4 points) : Vous devez protéger un réservoir d'eau potable en acier par une anode sacrificielle en zinc. L'anode est en contact électrique avec le réservoir. Les dimensions de l'anode cylindrique sont : **diamètre 15 mm et longueur 200 mm**. Le courant total de corrosion entre le réservoir et l'anode s'établit à **1 mA**.



Données :

- Masses volumiques du fer et du zinc : $\rho_{\text{Fe}} = 7,8 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{\text{Zn}} = 7,1 \text{ g/cm}^3$
- Masses atomiques du fer et du zinc: $A_{\text{Fe}} = 55,85 \text{ g/mol}$, $A_{\text{Zn}} = 65,4 \text{ g/mol}$
- Constant de Faraday $F = 96485 \text{ C/mol}$

a) Parmi les réactions ci-dessus laquelle se produit à la surface du réservoir et laquelle se produit sur le zinc ? (2pts)

b) Au bout de combien de temps, en année, devrez-vous changer l'anode? (2pts)
