



ÉCOLE  
POLYTECHNIQUE  
MONTRÉAL

Le  
**génie**  
sans frontières

PROGRAMME DE GÉNIE DES MATÉRIAUX

Note finale:

**150**

NOM (en majuscules):

**CORRIGÉ**

PRÉNOM :

**Version révisée**

SIGNATURE :

**18/12/2001**

MATRICULE :

SECTION :

## COURS ING1035 - MATÉRIAUX

EXAMEN FINAL

du 17 décembre 2001

de 9h30 à 12h00

### FORMULAIRE DE RÉPONSES

- NOTES :
- ◆ Aucune documentation permise.
  - ◆ Moyen de calcul : calculatrices autorisées seulement.
  - ◆ Les nombres en marge de droite indiquent le nombre de points accordés à la question. Le total est de **60** points.
  - ◆ La cote maximale de l'examen est de **50** points.
  - ◆ **Pour les questions nécessitant des calculs, aucun point ne sera accordé à la bonne réponse si le développement n'est pas écrit.**
  - ◆ **Utilisez les espaces prévus ou la page opposée pour vos calculs.**
  - ◆ Le questionnaire comprend **11** pages, incluant les annexes (si mentionnés) et le formulaire général.
  - ◆ Le formulaire de réponses comprend **10** pages.
  - ◆ Vérifiez le nombre de pages de votre questionnaire et de votre formulaire de réponse.

**1. EXERCICE n° 1 (Dégradation) (voir exercice 8.3 du CD-Rom)**

**1.a) Mode de corrosion**

Mode de corrosion	Cas
Corrosion par frottement	----
Corrosion galvanique entre deux métaux différents	<b>4</b>
Corrosion par érosion	----
Corrosion galvanique entre deux phases différentes	<b>3</b>
Pile de concentration (aération différentielle)	<b>1, 2</b>
Corrosion par cavitation	----

(2 pts)

**1.b) Siège(s) de la réaction anodique et de la réaction cathodiques**

Indiquez le siège de la réaction par la lettre qui lui correspond sur les schémas

Cas	Zone(s) anodique(s)	Zone(s) cathodique(s)
1	<b>D</b>	<b>B</b>
2	<b>E</b>	<b>C</b>
3	<b>D</b>	<b>C</b>
4	<b>F</b>	<b>B</b>

(3 pts)

**2. Exercice n° 2 (Propriétés physiques) (voir exercice 9.4 du CD-Rom)**

**2.a) Choix du conducteur**

Justification :

Soit **M** la masse de matériau requise pour joindre les deux localités distantes d'une longueur **l**.

$$M = m_0 V = m_0 S l \quad (1)$$

avec: **m<sub>0</sub>** = masse volumique (densité) du matériau ; **S** = section du conducteur ; **l** = distance entre les localités.

Par hypothèse, **M** = constante. Donc l'équation (1) conduit à l'équation suivante:

$$M/l = m_0 S = \text{constante} = A \quad (2)$$

Le rapport **M/l** représente la masse par unité de longueur du conducteur.

La résistance **R** par unité de longueur d'un tel conducteur est donnée par l'équation suivante :

$$R/l = \rho/S \quad (3)$$

où **ρ** est la résistivité électrique du conducteur

En remplaçant, dans l'équation (3), **S** par sa valeur donnée par l'équation (2), on obtient :

$$R/l = \rho m_0 / A \quad (4)$$

Le conducteur qui aura la plus faible résistance par unité de longueur (à masse égale de conducteur sur la ligne entre les deux localités) sera donc celui caractérisé par le **produit  $\rho m_0$  le plus faible**. Avec les données numériques du problème, on trouve donc que c'est **l'ALUMINIUM** qui est le matériau le plus approprié :

$$\rho m_{0Al} = 7,17 \mu\Omega \cdot g \cdot cm^{-2}$$

Métal : **Al**

(3 pts)

**Version révisée 18/12/2001**

**2.b) Élévation théorique de température**

Justification :

L'augmentation relative  $\Delta R/R$  de la résistance totale de la ligne est égale à l'augmentation relative de la résistivité  $\Delta \rho/\rho$  du conducteur lorsqu'il s'échauffe par effet Joule :

$$\Delta R/R = \Delta \rho/\rho = 8 \% \quad (5)$$

Cette variation relative de la résistance (ou de la résistivité) dépend de la température selon l'équation suivante :

$$\Delta \rho/\rho = \beta \cdot \Delta T = 8 \% \quad (6)$$

où  $\beta$  est le coefficient de variation de la résistivité en fonction de la température, égal à  $4,29 \times 10^{-3} \text{ C}^{-1}$  pour l'aluminium. On obtient ainsi aisément l'augmentation de température  $\Delta \theta$  de la ligne

$\Delta \theta = 18,65 \text{ } ^\circ\text{C}$	(2 pts)
---	---------

**3. Exercice n° 3 (Matières plastiques)**

**3.a) Comparaison de PEBD et du PEHD (Affirmations vraies)**

Cochez les affirmations qui sont vraies

Affirmations				
1	2	3	4	5
<b>V</b>			<b>V</b>	

(2 pts)

**3.b) Caractéristiques du PE, du PS et du PF (voir exercice 12.4 du CD-Rom)**

Répondez par Oui ou par Non dans les cases appropriées

Polymère	A chaînes linéaires	Thermodurcissable	Cristallisable
<b>PE</b>	<b>OUI</b>	<b>NON</b>	<b>OUI</b>
<b>PS</b>	<b>OUI</b>	<b>NON</b>	<b>NON</b>
<b>PF</b>	<b>NON</b>	<b>OUI</b>	<b>NON</b>

(3 pts)

**4. Exercice n° 4 (Céramiques) (voir exercice 13.3 du CD-Rom)**

**4.a) Résistance  $R_{mc}$  et Module d'Young  $E$  des deux matériaux**

Justification :

Par définition,  $R_{mc} = F_R/S_0$ , où  $F_R$  est la force à la rupture et  $S_0$  la section de l'éprouvette.

Par définition,  $E = \sigma/\epsilon$ , où  $\epsilon$  est la déformation élastique correspondant à la contrainte  $\sigma$  qui, ici peut être prise à égale à  $R_{mc}$  puisque les céramiques sont fragiles et ont un comportement élastique jusqu'à leur rupture. A la rupture, on obtient donc  $E = \sigma/\epsilon = R_{mc}/\epsilon_f$

Par définition, la déformation à la rupture  $\epsilon_f = (h_0 - h)/h_0$ , où  $h_0$  et  $h$  sont respectivement la hauteur initiale et la hauteur finale de l'éprouvette de compression. Avec les valeurs données, on obtient les résultats suivants :

Matériau	$R_{mc}$ (MPa)	$E$ (GPa)
Alumine	2100	300
Porcelaine	1000	133

(2 pts)

**4.b) Rupture au cours d'une brusque élévation de température**

Justification :

Pour une brusque élévation de température, les pièces **A** et **B**, qui ne peuvent se dilater, sont soumises à un effort de compression. À l'interface **A/B** entre les pièces, il y a équilibre des forces  $F_A$  et  $F_B$ .

La contrainte générée dans chacune des pièces est égale à :

$$\sigma_A = F_A/S_A \quad \text{et} \quad \sigma_B = F_B/S_B = 2F_A/S_A = 2\sigma_A \quad \text{car} \quad S_A = 1/2 S_B$$

La contrainte dans la matériau **A** (alumine) est 2 fois plus élevée que celle dans le matériau **B** (porcelaine). Toutefois, comme la résistance  $R_{mc}$  du matériau **A** (alumine) est 2,1 fois plus élevée que celle du matériau **B** (porcelaine), c'est donc **la porcelaine (B) qui se rompt en premier au cours d'un choc thermique**

**Matériau = B (porcelaine)**

(1 pt)

**4.c) Augmentation maximale de température**

Justification :

La déformation totale en compression des deux barreaux est égale à la somme des déformations en compression de chacun :

$$\epsilon_t = -(\epsilon_A + \epsilon_B) \quad (1)$$

Le signe – est utilisé parce que l'on est en compression.

En appliquant la loi de Hooke à chaque matériau, on obtient :

$$\epsilon_t = -R_{mCB} \left( \frac{1}{E_A} + \frac{1}{E_B} \right) \quad (2)$$

Si les barreaux étaient libres de se dilater, l'allongement relatif thermique de l'ensemble serait égal à la somme de leur allongement relatif thermique individuel, ce qui s'écrit :

$$\epsilon_{tht} = \epsilon_{thA} + \epsilon_{thB} = \epsilon_{tht} = (\alpha_A + \alpha_B) \Delta\theta \quad (3)$$

Puisque la distance entre les barreaux ne varie pas, la somme de la déformation totale  $\epsilon_t$  en compression et de la dilatation thermique totale  $\epsilon_{tht}$  est nulle, c'est à dire que l'on peut écrire :

$$\epsilon_{tht} + \epsilon_t = 0 \quad (4)$$

D'après les éq. (2), (3) et (4), on obtient ainsi la valeur  $\Delta\theta$  de l'augmentation maximale de température :

$$\Delta\theta = \frac{R_{mCB}}{(\alpha_A + \alpha_B)} \left( \frac{1}{E_A} + \frac{1}{E_B} \right) \quad (5)$$

**$\Delta\theta = 942$  °C**

(2 pts)

Avec les valeurs numériques données ou trouvées, on ainsi la variation critique de température

**5. Exercice n° 5 (composite)**

**5.a) Fraction volumique de renfort (acier)**

On peut démontrer aisément que la fraction volumique  $V_f$  de renfort (acier) est aussi égale à la fraction surfacique  $S_f$  du renfort dans une section droite du composite (pilier). On a donc :  $V_f = S_f = S_A/S_t$  où  $S_A$  est la surface des dix tiges d'acier et  $S_t$  est la surface totale d'une section droite du pilier. On obtient ainsi :

$$V_f = \frac{S_A}{S_t} = \frac{10\pi r^2}{S_t} = \frac{10\pi(1)^2}{15 \times 40} = 5,24 \times 10^{-2} = 5,24\%$$

$V_f = 5,24$  (1 pt)

**5.b) Module d'Young  $E_C$  du pilier**

Justification :

Il suffit d'appliquer la règle des mélanges aux modules d'Young de l'acier (renfort) et du béton (matrice) :

$$E_C = V_f E_f + (1 - V_f) E_m$$
$$E_C = [0,0524 \times 210] + [0,9476 \times 40] = 48,91 \text{ GPa}$$

$E_C = 48,9$  GPa (1 pt)

**5.c) Force de compression  $F_C$  à la rupture**

Justification :

La rupture du pilier se produira quand il y aura rupture du béton (matrice) qui est le composant fragile. La déformation  $\epsilon_f$  (en compression) du béton à sa rupture est donnée par la loi de Hooke :

$$\epsilon_f = \frac{R_{mb}}{E_b} \quad (1)$$

D'après la loi de Hooke, la contrainte  $\sigma_R$  de rupture du pilier est donc égale à :  $\sigma_R = E_C \epsilon_f = \frac{E_C}{E_b} R_{mb}$  (2)

La force  $F_C$  entraînant la rupture est égale à :  $F_C = S_t \sigma_R = S_t E_C \epsilon_f = \frac{E_C}{E_b} S_t R_{mb}$

$F_C = 3668$  kN (2 pts)

**5.d) État de l'acier à la rupture du pilier**

Justification :

La rupture du pilier se produira quand il y aura rupture du béton (matrice) qui est le composant fragile. La déformation  $\epsilon_f$  (en compression) du béton à sa rupture est donnée par la loi de Hooke :

$$\epsilon_f = \frac{R_{mb}}{E_b} = \frac{50 \text{ MPa}}{40 \text{ GPa}} = 1,25 \times 10^{-3} = 0,125\% \quad (1)$$

Les déformations dans le béton et dans l'acier étant les mêmes, la contrainte appliquée à l'acier au moment de la rupture du pilier, est donc égale à :  $\sigma_A = E_A \epsilon_f = \frac{E_A}{E_b} R_{mb} = \frac{210}{40} \times 50 = 262,5 \text{ MPa}$  (2) (1 pt)

Puisque cette contrainte est inférieure à la limite d'élasticité en compression de l'acier (280 MPa), **l'acier est en régime purement élastique et n'a pas subi de déformation plastique à l'instant de la rupture du pilier.**

**6. Exercice n° 6**

Indiquez le n° de la propriété

Paramètre	A	B	C	D	F
Propriété(s)	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>3</b>

(5 pts)

**7. Exercice n° 7**

**7.a) Réseau de Bravais du CsCl**

**Réseau : Cubique simple**

(1 pt)

**7.b) Compacité du CsCl**

Justification : Compacité  $C = V_a/V_m$  où  $V_a$  = volume des atomes appartenant en propre à la maille et  $V_m$  = volume de la maille. Si  $a$  est le paramètre de la maille, ici on a :  $a\sqrt{3} = 2(R_{Cl} + R_{Cs})$  où  $R_{Cl}$  et  $R_{Cs}$  sont respectivement les rayons ioniques du chlore et du césium.

Le volume  $V_m$  est donc égal à :  $V_m = a^3 = \left[ \frac{2}{\sqrt{3}}(R_{Cl} + R_{Cs}) \right]^3$

Comme il y a 1 ion Cl ( $8 \times 1/8$ ) et 1 ion Cs appartenant à la maille,

le volume  $V_a$  est égal à :  $V_a = \frac{4\pi}{3}(R_{Cl}^3 + R_{Cs}^3)$ .

**Compacité : 68,45 %**

(1 pt)

**7.c) Masse volumique théorique  $\rho$  du CsCl**

Justification :

Masse volumique  $\rho = M_a/V_m$  où  $M_a$  = masse des atomes appartenant en propre à la maille et  $V_m$  = volume de la maille. Le volume  $V_m$  a été calculé à la question précédente  $V_m = a^3 = \left[ \frac{2}{\sqrt{3}}(R_{Cl} + R_{Cs}) \right]^3$

Comme il y a 1 ion Cl ( $8 \times 1/8$ ) et 1 ion Cs appartenant en propre à la maille, la masse  $M_a$  est égal à :

$$M_a = (M_{Cl} + M_{Cs})/N_A, \text{ où } N_A \text{ le nombre d'Avogadro.}$$

On obtient ainsi la masse volumique théorique  $\rho$  du CsCl

**$\rho = 4,38 \text{ g/cm}^3$**

(1 pt)

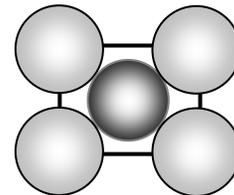
**7.d) Densité surfacique d'ions dans le plan (011)**

Justification :

Le plan (011) est un plan diagonal, parallèle à l'axe X. La surface de sa maille plane élémentaire est égale à  $a^2\sqrt{2}$ . La disposition des ions Cl et Cs dans cette maille est représentée ci-contre.

La maille plane élémentaire possède donc **1 ion Cs en propre et 1 ion Cl en propre** ( $4 \times 1/4$ ). La densité surfacique d'ions Cl et Cs est donc la même dans ce plan est égale à :

$$\frac{1}{a^2\sqrt{2}}$$



Ions	Densité surfacique ((ions/nm <sup>2</sup> ))
Cl <sup>-</sup>	<b>4,41</b>
Cs <sup>+</sup>	<b>4,41</b>

(1 pt)

**7.e) Type de sites occupés par les ions Cs<sup>+</sup>**

**Site : cubique**

(1 pt)

**8. Exercice n° 8**

**8.a) Transformations allotropiques du fer pur à l'état solide**

Température (°C)	<b>910</b>	<b>1394</b>	<b>---</b>	(1 pt)
Transformation	<b><math>\alpha \leftrightarrow \gamma</math></b>	<b><math>\gamma \leftrightarrow \delta</math></b>	<b>---</b>	

**8.b) Microstructure d'un acier à 0,6 %m. C à diverses températures**

Température (°C)	<b>1460</b>	<b>1400</b>	<b>724</b>	<b>20</b>	(2 pts)
Microstructure	<b>e</b>	<b>c</b>	<b>f</b>	<b>h</b>	

**8.c) Phases et proportions dans un acier eutectoïde à 20 °C**

Phase	<b><math>\alpha</math></b>	<b>Fe<sub>3</sub>C</b>	<b>---</b>	(2 pts)
Proportion (%)	<b>88</b>	<b>12</b>	<b>---</b>	

**8.d) Températures de début et de fin de solidification d'un acier eutectoïde**

	Température (°C)	(1 pt)
Début	<b>1480</b>	
Fin	<b>1400</b>	

**8.e) Microstructure d'un acier eutectoïde à 1420 °C**

**Schéma = e** (1 pt)

**9. Exercice n° 9**

**9.a) Propagation possible de la fissure ?**

Répondez par **Oui** ou **Non** et justifiez votre réponse quantitativement :

La variation du facteur d'intensité de contrainte  $\Delta K$ , associé à cette fissure initiale, est égale à :

$$\Delta K = \alpha \Delta \sigma \sqrt{\pi a} = \alpha (\sigma_{max} - \sigma_{min}) \sqrt{\pi a}$$

avec  $\sigma_{max} = 300$  MPa (tir du canon) et  $\sigma_{min} = 0$  (canon au repos).

Puisque  $\alpha = 1,2$  et  $a = 0,5$  mm, on obtient ainsi :

$$\Delta K = \alpha (\sigma_{max} - \sigma_{min}) \sqrt{\pi a} = 1,2 \times 300 \sqrt{\pi \times 0,0005} = 14,27 \text{ MPa.m}^{1/2}$$

On constate que cette valeur est supérieure au seuil de propagation en fatigue d'une fissure dans cet acier ( $\Delta K_S = 10 \text{ MPa.m}^{1/2}$ ). **Dès la mise en service du canon, il y aura donc propagation progressive de la fissure à chaque tir du canon.**

**OUI** (1 pt)

**Version révisée 18/12/2001**

**9.b) Profondeur critique  $a^*$  de la fissure entraînant la rupture brutale (apparemment fragile)**

Justification :

Le facteur maximum d'intensité de contrainte, associé à cette fissure initiale, est égal à :

$$K = \alpha \sigma_{max} \sqrt{\pi a} \quad \text{avec } \sigma_{max} = 300 \text{ MPa (tir du canon)}$$

Quand  $K = K_{IC}$ , il y a rupture brutale (apparemment fragile) du matériau. On en déduira ainsi la longueur critique

$a^*$  pour laquelle se produira la rupture :

$$a^* = \frac{1}{\pi} \left( \frac{K_{IC}}{\alpha \sigma_{max}} \right)^2$$

Puisque  $\alpha = 1,2$ ,  $\sigma_{max} = 300 \text{ MPa}$  et  $K_{IC} = 125 \text{ MPa.m}^{1/2}$ , on obtient ainsi :

<b><math>a^* = 38,4 \text{ mm}</math></b>	(1 pt)
---	--------

**9.c) Rapport  $R$  du chargement en fatigue**

Justification :

Par définition,  $R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$ .

Puisque  $\sigma_{max} = 300 \text{ MPa}$  (tir du canon) et  $\sigma_{min} = 0$  (canon au repos), la valeur de  $R$  est égale à 0 (zéro).

<b><math>R = 0</math></b>	(1 pt)
---------------------------	--------

**9.d) Durée de vie du en fatigue du fût du canon**

Justification :

Relation de Paris :

$$da/dN = C \Delta K^n \quad (1)$$

Variation du facteur d'intensité de contrainte  $\Delta K$  :

$$\Delta K = \alpha \Delta \sigma \sqrt{\pi a} = \alpha \sigma_{max} \sqrt{\pi a} \quad (2)$$

En combinant les éq. (1) et (2) et en séparant les variables  $a$  et  $N$ , on obtient :

$$dN = \frac{1}{B} \frac{da}{a^{n/2}} \quad \text{avec} \quad B = C (\alpha \sigma_{max} \sqrt{\pi})^n = \text{constante} \quad (3a \text{ et } 3b)$$

Par intégration de l'éq. 3a, on obtient le nombre  $N$  de cycles requis pour que la profondeur de la fissure passe de sa valeur initiale  $a_0 = 0,5 \text{ mm}$  à sa valeur finale critique  $a^* = 38,4 \text{ mm}$  :

$$[N]_{a_0}^{a^*} = \frac{1}{B} \int_{a_0}^{a^*} a^{-n/2} da = \frac{2}{(2-n)B} [a^{1-n/2}]_{a_0}^{a^*} = \frac{2}{(2-n)B} [(a^*)^{1-n/2} - (a_0)^{1-n/2}] \quad (4)$$

Ici, l'exposant de Paris  $n$  est égal à 2,5, donc  $n/2 = 1,25$ . La constante  $C$  est égale à  $8 \times 10^{-11}$

Avec les valeurs numériques données, on obtient ainsi :

$$B = C (\alpha \sigma_{max} \sqrt{\pi})^n = 8 \times 10^{-11} (1,2 \times 300 \sqrt{\pi})^{2,5} = 8,228 \times 10^{-4}$$

et  $N = 21\,637 \text{ cycles}$

Puisqu'il y a 10 tirs de canon par jour, donc 10 cycles de chargement en fatigue de la fissure par jour, **il y aura rupture du fût du canon au bout de 2163 jours** si la fissure n'a pas été détectée avant.

<b>Durée = 2163 jours</b>	(4 pts)
---------------------------	---------

**10. Exercice n° 10 (voir exercice 6.4 du CD-Rom)**

**10.a) Composition atomique de la phase  $\gamma$**

Justification :

La formule chimique de la phase  $\gamma$  étant **CuBe**, il y a donc autant d'atomes de **Cu** que d'atomes de **Be** dans ce composé. Sa composition en **Be** est donc égale à **50 %** atomique.

<b>C = 50 %at.</b>	(1 pt)
--------------------	--------

**10.b) Phases et proportions présentes à 20 °C**

Justification :

Selon le diagramme **Cu – Be**, la solubilité du **Be** dans le Cu solide (phase  $\alpha$ ) est très faible à 20 °C. À cette température, l'autre phase d'équilibre est la phase  $\gamma$  contenant 11,8 %m de Be.

En appliquant la règle des bras de leviers (le point pivot étant la composition nominale de 1,9%), on obtient les fractions (ou proportions) massiques des phases.

Phase (°C)	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b>---</b>	(1 pt)
Proportion	<b>83,9</b>	<b>16,1</b>	<b>---</b>	

**10.c) Température de mise en solution**

Justification :

Il faut que tout le **Be** soit entièrement dissous à l'état solide dans la phase  $\alpha$ . La température située au milieu de l'intervalle de température où l'alliage est en phase  $\alpha$  sera donc la température optimale de mise en solution. Pour l'alliage à 1,9 %m Be, cette température est donc voisine de **800 °C**.

On pourrait aussi choisir la température de solubilité maximale du Be, soit **860 °C**, quoique dans ce cas, on s'approche un peu trop de domaine biphasé  $\alpha$  + liquide

<b><math>\theta = 800</math> °C</b>	(1 pt)
-------------------------------------	--------

**10.d) Température et temps de vieillissement**

Justification :

Selon les courbes données, en éliminant tous les temps de vieillissement supérieures à 1 h. et en tenant compte des valeurs minimales requises des propriétés mécaniques, on obtient grâce aux courbes de vieillissement (voir annexe) les valeurs suivantes :

Température (°C)	<b>370</b>	<b>315</b>	<b>----</b>	(2 pts)
Temps (min)	<b>6 à 12</b>	<b>55 à 60</b>	<b>----</b>	

**10.e) Composition de la phase  $\alpha$  après vieillissement**

Justification :

L'un ou l'autre des traitements de vieillissement possibles conduisent à un **état sous-vieilli**, puisque l'on n'a pas encore dépassé le pic de vieillissement. L'état d'équilibre thermodynamique stable de l'alliage n'a donc pas encore été atteint. Une fraction du béryllium en sursaturation a précipité pour former de fins précipités durcissants, mais il reste toutefois une fraction non négligeable de béryllium non précipité lorsque le vieillissement sera interrompu. Par conséquent, **la phase  $\alpha$  aura une concentration en Be, certes inférieure à 1,9 %m., mais aussi supérieure à la solubilité maximale du Be**

**soit à 370 °C (0,4 %), soit à 315 °C (0,2 %).**

<b><math>0,2 &lt; C</math> (%m. Be) &lt; 1,9</b>	(2 pts)
--	---------

À 20 °C, cette phase  $\alpha$  sera une phase métastable puisqu'elle n'évoluera qu'infiniment lentement vers l'équilibre thermodynamique au cours du temps si l'alliage n'est pas réchauffé:

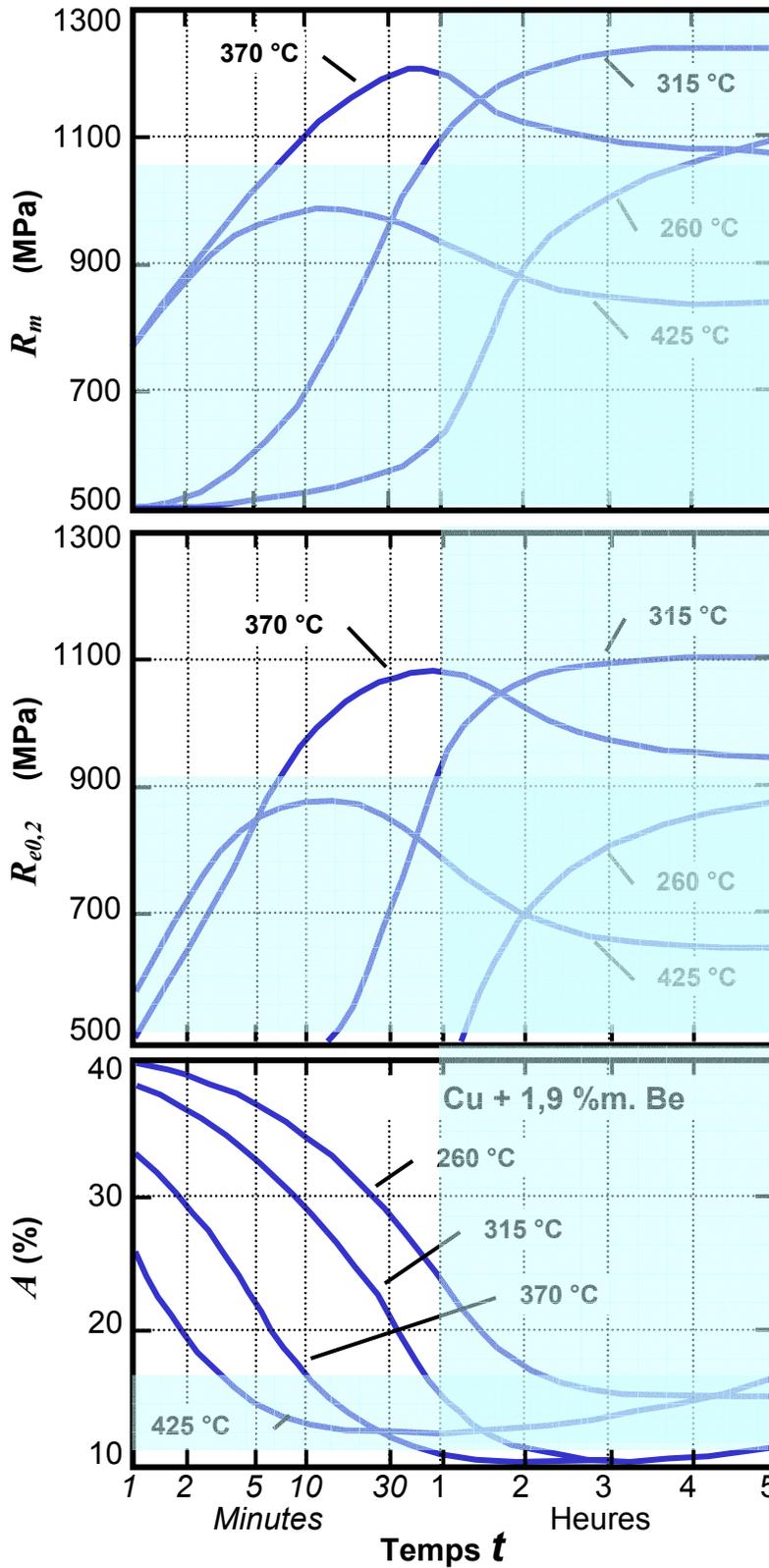
**11. Exercice n° 9**

Répondez par **V** (vrai) ou **F** (faux). **Attention !** Une mauvaise réponse en annule une bonne !

Une maille C.F.C. (cubique à faces centrées) possède quatre (4) sites octaédriques en propre.	<b>V</b>
Les plans {111} sont les plans les plus denses du réseau C.C. (cubique centré).	<b>F</b>
À cause des caractéristiques de la liaison métallique, les dislocations peuvent se déplacer dans les métaux soumis à une contrainte.	<b>V</b>
La fragilité des matériaux covalents cristallins est due à l'absence de dislocations dans ces matériaux.	<b>F</b>
Un matériau est plus résilient (tenace) si, au cours d'un essai Charpy, la hauteur de remontée du pendule est plus élevée.	<b>F</b>
Plus la température de vaporisation d'un matériau est élevée, plus son module d'Young <b>E</b> est faible.	<b>F</b>
Dans le cas d'une fissure de fatigue dont le rayon de courbure à fond d'entaille est très faible, la condition mécanique de Griffith est satisfaite pour de très faibles valeurs de la contrainte nominale appliquée.	<b>V</b>
Un environnement agressif entraîne généralement une baisse de la limite d'endurance en fatigue d'un matériau.	<b>V</b>

(4 pts)

ANNEXE



Courbes de vieillissement  
de l'alliage Cu + 1,9 %m. Be.