



POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL

Questionnaire
Contrôle
périodique 2

MTR1035C

Sigle du cours

<i>Identification de l'étudiant(e)</i>				Réservé					
Nom :		Prénom :			Q1 /4				
Signature :		Matricule :	Groupe :		Q2 /5				
<i>Sigle et titre du cours</i>		<i>Groupe</i>			<i>Trimestre</i>				
MTR1035C Matériaux		Tous			Automne 2015				
<i>Professeur</i>		<i>Local</i>		<i>Téléphone</i>					
Jean Savoie		A-479		4771					
<i>Jour</i>		<i>Date</i>		<i>Durée</i>		<i>Heures</i>			
Jeudi		12 novembre 2015		1 h 30		18 h 30 à 20 h 00			
<i>Documentation</i>			<i>Calculatrice</i>			/25			
<input checked="" type="checkbox"/> Aucune <input type="checkbox"/> Toute <input checked="" type="checkbox"/> Voir directives particulières			<input type="checkbox"/> Aucune <input type="checkbox"/> Toutes <input checked="" type="checkbox"/> Non programmable					Les cellulaires, agendas électroniques ou téléavertisseurs sont interdits.	
<i>Directives particulières</i>									
1. Les nombres entre parenthèses indiquent le nombre de points accordés à la question, le total est de 25 points. 2. Pour les questions nécessitant des calculs ou une justification, aucun point ne sera accordé à la bonne réponse si le développement n'est pas écrit. 3. Utilisez les espaces prévus ou la page opposée pour vos calculs. 4. Vous avez, en annexe, le formulaire général. Vous pouvez détacher cette page du questionnaire.									
Important	Cet examen contient <input type="text" value="5"/> questions sur un total de <input type="text" value="13"/> pages. (excluant cette page)								
	La pondération de cet examen est de <input type="text" value="25"/> %								
	Vous devez répondre sur : <input checked="" type="checkbox"/> le questionnaire <input type="checkbox"/> le cahier <input type="checkbox"/> les deux								
	Vous devez remettre le questionnaire : <input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non								

L'étudiant doit honorer l'engagement pris lors de la signature du code de conduite.

Question N°1

Unité 4 - Ténacité

(4 points)

Les tuyaux sous pression, schématisés à la Figure 1, sont conçus pour résister à une pression spécifique, P , de 50 MPa. On peut fabriquer ces tuyaux à partir des matériaux M1 ou M2 dont les propriétés mécaniques sont données dans le Tableau 1. Les tuyaux ont une épaisseur, e , de 40 mm peu importe le matériau utilisé. Le diamètre des tuyaux, D , est quant à lui limité par la limite d'élasticité du matériau choisi.

Tableau 1 : Propriétés mécaniques des matériaux proposés

	E (GPa)	Re _{0,2} (MPa)	R _m (MPa)	A (%)	K _{IC} (MPa*m ^{0.5})
M1	200	600	650	2	30
M2	190	500	700	15	60

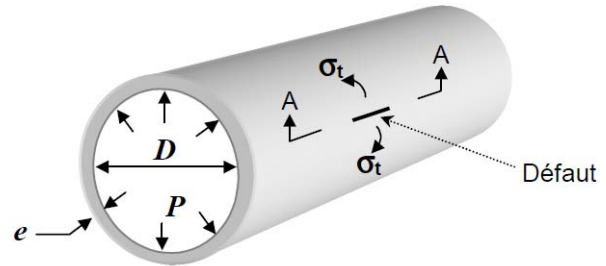


Figure 1 : Schéma du tuyau sous pression
=Figure 2: Coupe AA de la figure 1

$$\sigma_t = \frac{PD}{2e}$$

- a) Pour le matériau M1, quel est le diamètre maximum des tuyaux (sans défaut) que l'on peut concevoir pour s'assurer que la contrainte tangentielle, σ_t , demeure égale ou inférieure à 0,75 de la limite conventionnelle d'élasticité ? Justifiez par des calculs. **(1 point)**

Calcul :

$$\sigma_t = \frac{PD}{2e} \leq 0,75 Re_{0,2M1} \text{ (0,25 pt)}$$

$$\frac{50 \text{ MPa} \times D(\text{mm})}{2 \times 40(\text{mm})} \leq 0,75 \times 600 \text{ MPa}$$

$$D(\text{mm}) \leq \frac{0,75 \times 600 \text{ MPa} \times 2 \times 40(\text{mm})}{50 \text{ MPa}} \text{ (0,25 pt)}$$

$$D(\text{mm}) \leq 720 \text{ mm}$$

Diamètre maximum des tuyaux M1, en m : Réponse : $D_{M1} \leq 0,72 \text{ m}$ **(0,5 pt)**

- b) Dans les mêmes conditions mécaniques qu'en a), est-ce que le diamètre permis pour le matériau M2 devrait être inférieur ou supérieur à celui permis pour le matériau M1 ? Justifiez par une inégalité algébrique (sans calculer l'épaisseur de M2). **(1 point)**

Justification :	
$D \leq \frac{0,75 Re_{0,2} \times 2e}{p} \text{ (0,25 pt)}$ <p>L'épaisseur et la pression sont constantes.</p> <p>Puisque $Re_{0,2}$ de M2 < $Re_{0,2}$ de M1; $D_{M2} < D_{M1}$ (0,25 pt)</p>	
	Réponse (>, < ou =) : $D_{M2} < D_{M1}$ (0,5 pt)

À la suite de l'installation des tuyaux, une inspection révèle que des rayures assimilables à des fissures ($K_t \rightarrow \infty$) ont été produites par les outils. Ces rayures, schématisées à la Figure 2, ont une largeur ($2c$) de 2 mm et sont caractérisées par un facteur géométrique de 1,10. Il y en a autant sur les tuyaux fabriqués en matériau **M1** qu'en matériau **M2**.

- c) Dans les conditions mécaniques énoncées en **a)** (soit $\sigma_t \leq 0,75 Re_{0,2}$), vérifiez si la présence de ces défauts risque de provoquer une rupture brutale des tuyaux. Ne faites le calcul que pour le tuyau le plus critique (entre **M1** et **M2**) en justifiant pourquoi vous avez choisi ce cas. **(2 points)**

Calcul et justification :	
$K = \alpha \sigma_{nom} \sqrt{\pi a}$	
<p>Il y a rupture brutale si $K \geq K_{IC}$ tandis que σ_{nom} demeure inférieure à $Re_{0,2}$. On sait que $\sigma_{nom} = \sigma_t = 0,75 Re_{0,2}$ pour les deux matériaux. Donc il ne reste qu'à vérifier si $K \geq K_{IC}$.</p>	
$K = \alpha \sigma_{nom} \sqrt{\pi a} \geq K_{IC}$	
<p>Les valeurs α, et a sont les mêmes pour les 2 matériaux.</p>	
<p>Le rapport des σ_{nom} est donné par le rapport des $Re_{0,2}$: $\frac{Re_{0,2M1}}{Re_{0,2M2}} = \frac{600}{500} = 1,2$</p>	
<p>Donc, le facteur d'intensité de contrainte appliqué sur le matériau M1 est plus grand.</p>	
<p>En contrepartie, la ténacité de M1 est plus faible que la ténacité de M2, il devient donc évident que M1 est celui le plus sujet à la rupture brutale car :</p>	
$K_{M1} > K_{M2} \text{ (0,25 pt)} \text{ et } K_{ICM1} < K_{ICM2} \text{ (0,25 pt)}$	
<p>On entre maintenant les valeurs dans la formule pour M1 :</p>	
$K = 1,10 \times 0,75 \times 600 \text{ MPa} \sqrt{\pi \times 1 \times 10^{-3}} \geq \text{ou} < 30 \text{ MPa} \sqrt{m} \text{ (0,5 pt)}$	
<p>Il faut prendre $a = 2c/2$ comme dans l'exercice du CD 4.21. Si on prend $a = 2c$ (- 0,5 pt)</p>	
$27,74 < 30 \text{ MPa} \sqrt{m}$	
i) Quel est le cas critique ?	i) Réponse (M1 ou M2) : M1 (0,5 pt)
ii) Risque de rupture brutale pour $M_{critique}$	ii) Réponse (oui ou non) : NON (0,5 pt)

Question N°2

Unité 4 - Ténacité

(5 points)

- a) Outre l'essai d'impact Charpy, il existe l'essai de résilience Izod pour lequel l'éprouvette est fixée (encastrée) par le bas comme le montre la Figure 3. En utilisant les mêmes principes mécaniques que ceux de l'essai Charpy, sur quelle surface A, B, C, D ou E le mouton pendule doit-il heurter le spécimen lors de l'essai ? Justifiez. (2 points)

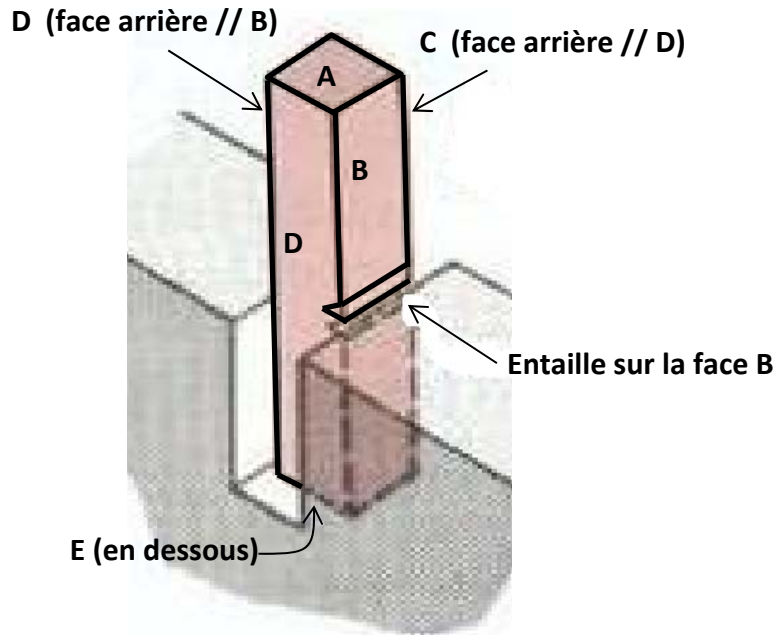


Figure 3 : Schéma d'une éprouvette Izod

Justification :

Étant donné l'encastrement à la base, pour mettre l'entaille en **TRACTION (ou tension ou ouverture/ouvrir)** et ainsi provoquer la rupture de l'échantillon, il faut frapper sur la Face B. (1 point)

Un dessin justificatif montrant des flèches qui ouvrent la fissure est aussi accepté.

Réponse A, B, C, D ou E : **Face B (1 point)**

- b) Soit les deux matériaux dont les propriétés sont données dans le Tableau 1 de la question 1. Lors d'un essai Charpy ou Izod, pour lequel de ces deux matériaux le mouton pendule remontrera le moins haut après l'impact ? Expliquez. (2 points)

Explication :

La hauteur de remontée du pendule est inversement proportionnelle à l'énergie nécessaire pour rompre l'éprouvette (0,5 pt). La ténacité du matériau est quant à elle proportionnelle à l'énergie de rupture du matériau (0,5 pt) donc :

OU

$$H_{\text{final } 2} < H_{\text{final } 1} \text{ car } K_{IC2} > K_{IC1} \text{ (1 pt pour l'inégalité)}$$

Réponse M1 ou M2 : **M2 (1 pt)**

- c) Que rapporte-on en ordonnée (axe des Y) sur les graphiques montrant l'évolution de la résilience en fonction de la température ? Quelle est l'unité de mesure de cette grandeur ?
(1 point)

Paramètre qualifiant la résilience : Énergie de rupture (0,5 pt) OU Énergie (0,5 pt)	Unité : Joules (0,5 pt)
Nous avons aussi accepté la hauteur de remontée du pendule pour la moitié des points.	

Question N°3

Unité 5 - Diagrammes d'équilibre

(8 points)

Considérez le diagramme d'équilibre Cu-Mg présenté à la Figure 4 où la teneur en Mg est exprimée en pourcentage massique sur l'abscisse du bas et en pourcentage atomique sur l'abscisse du haut.

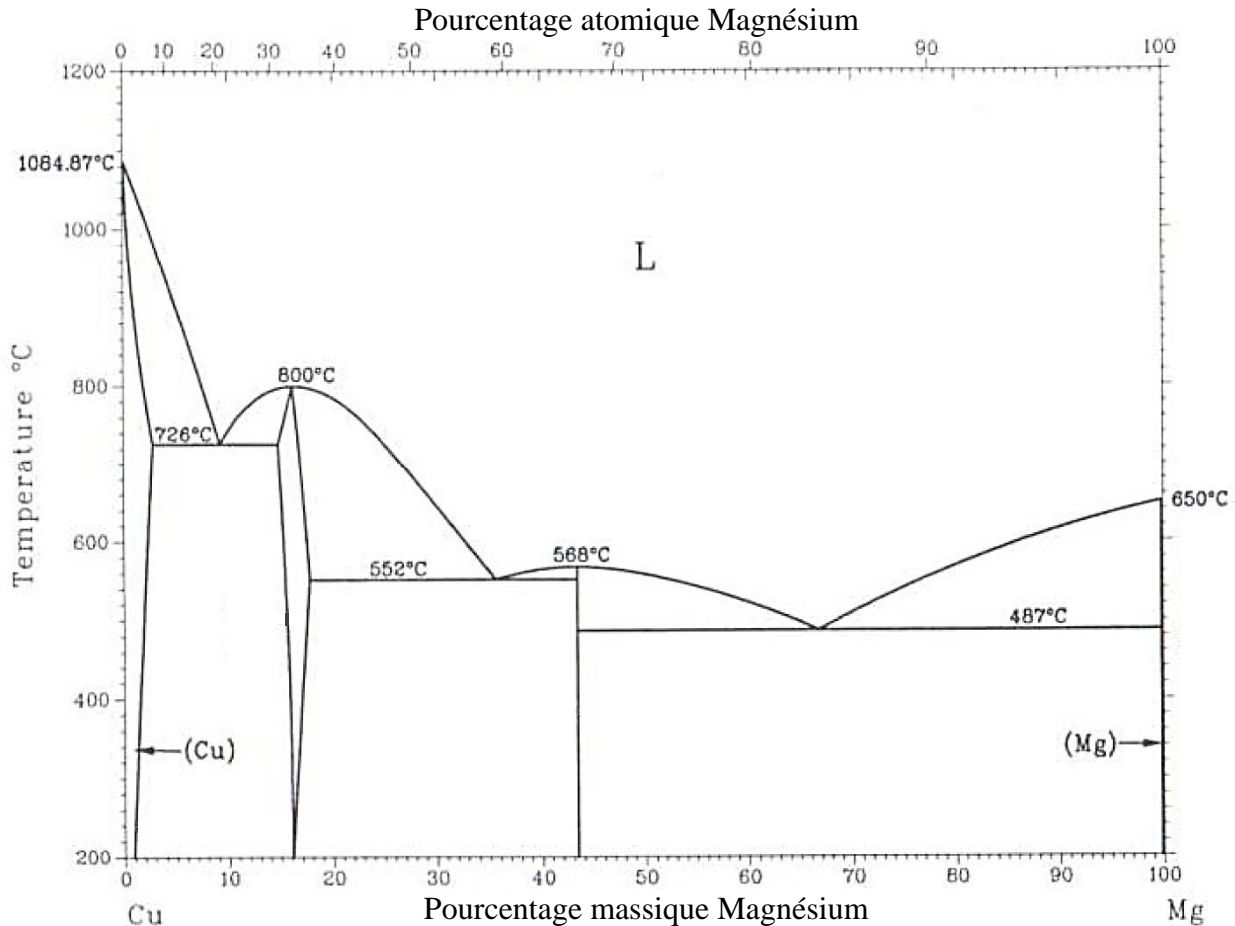


Figure 4 : Diagramme d'équilibre Cu-Mg

- a) Donnez la formule chimique du(des) composé(s) stoéchiométrique(s) et identifiez sa(leur) température(s) de fusion. (1 point)

Réponse et justification :

Le seul composé stoéchiométrique est à 66.6% atomique Mg. Donc 2Mg pour 1Cu.

La formule chimique est donc : **CuMg₂** (0.5pt)

La température de fusion est : **568°C** (0.5pt)

Considérez le diagramme d'équilibre Cd-Pb présenté à la Figure 5 où la teneur en Pb est exprimée en pourcentage massique sur l'abscisse du bas et en pourcentage atomique sur l'abscisse du haut.

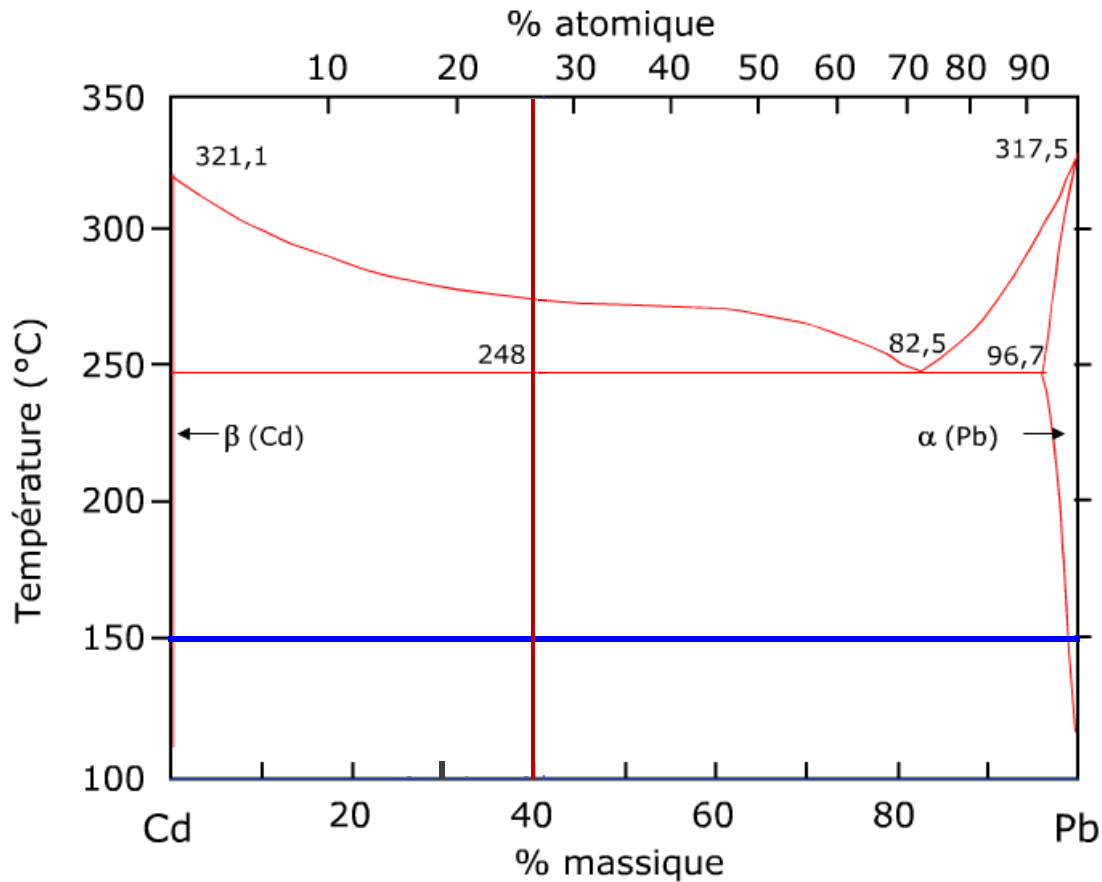


Figure 5 : Diagramme d'équilibre Cd-Pb

- b) Quelle est la solubilité maximum du cadmium dans la phase α riche en Plomb ? Justifiez.

(1 point)

Explication :

La solubilité maximum du cadmium dans la phase α riche en plomb est à 248°C pour 96,7%Pb (% minimum de plomb dans la phase α) donc : **3.3%Cd**

Erreur de calcul -0.25 pt.

Solubilité maximale de Cd dans α ?

Réponse : **3.3 % massique de Cd (1 point)**

- c) Considérez un alliage Cd-Pb contenant 40 % massique de plomb (voir la Figure 5). Quelle(s) est(sont) la(les) phase(s) et le(les) constituant(s) en présence, leur(s) composition(s) chimique(s) en % massiques et leur(s) proportion(s) massique(s) à 150°C ? Justifiez par des calculs. (4 points)

Calculs :

Phase en présence : β et α (0,25pt chacun)

Constituants en présence : β primaire et eutectique (0,25pt chacun)

Teneurs en Pb des phases : $\beta = 0 \%$, $\alpha = 97 \text{ à } 98 \%$ (0,25pt chacun)

Teneur en Pb des constituants : β primaire = 0 %, eutectique = 82,5 % (0,25pt chacun)

Calcul des proportions des phases

$f_{\beta} : (0,985 - 0,40) / (0,985 - 0) = 2,5 = 58,7 \text{ à } 59,6 \%$ (0,5pt)

$f_{\alpha} : (0,40 - 0) / (0,985 - 0) = 2,5 = 40,4 \%$ à $41,3 \%$ (ou bien $100 \% - f_{\beta}$) (0,5pt)

Calcul des proportions des constituants

$f_{\beta \text{ primaire}} : (0,825 - 0,40) / (0,825 - 0) = 2,5 = 51,5 \%$ (0,5pt)

$f_{\text{Eutectique}} : (0,40 - 0) / (0,825 - 0) = 2,5 = 48,5 \%$ (ou bien $100 \% - 51,5 \%$) (0,5pt)

-0.5pt par phase ou constituant en trop

Réponses : N'utilisez que les lignes nécessaires

Phase 1 :	β	Teneur Pb :	0 % Pb	Proportion :	59,4 %
Phase 2 :	α	Teneur Pb :	98,5 % Pb	Proportion :	40,6 %
Phase 3 :		Teneur Pb :		Proportion :	
Constituant 1 :	β primaire	Teneur Pb :	0 % Pb	Proportion :	51,5 %
Constituant 2 :	Eutectique	Teneur Pb :	82,5 % Pb	Proportion :	48,5 %
Constituant 3 :		Teneur Pb :		Proportion :	

- d) Si on refroidit à l'équilibre un alliage contenant 98 % massique de Pb depuis l'état liquide jusqu'à 100 °C, quelle(s) sera(seront) la(les) phase(s) en présence, sa(leurs) composition(s) chimique(s) en % massiques et sa(leurs) proportion(s) massique(s) ? Justifiez par des calculs.(2 points)

Calculs :

Phase en présence : β et α (0,25pt chacun)

Teneurs en Pb des phases : $C_{\beta} = 0$ % Pb, $C_{\alpha} = 100$ % Pb (0,25pt chacun)

Calcul des proportions des phases

$f_{\alpha} : (0,98 - 0) / (1 - 0) = 2,5 = 98$ % (0,5pt)

$f_{\beta} : (1 - 0,98) / (1 - 0) = 2,5 = 2$ % (ou bien 100 % - 98 %) (0,5pt)

-0.5pt par phase en trop

Réponse : N'utilisez que les lignes nécessaires

Phase 1 :	β	Teneur Pb :	0 % Pb	Proportion :	2 %
Phase 2 :	α	Teneur Pb :	100 % Pb	Proportion :	98 %

Question N°4 Unité 6 - Modification des propriétés mécaniques (4 points)

Outre le durcissement structural, nommez deux (2) autres méthodes de durcissement et décrivez les mécanismes microstructuraux menant à l'augmentation de la limite d'élasticité.

(2 points)

Méthode de durcissement 1:	
<p>Description des mécanismes de durcissement associés : 2 des 3 possibilités (1 point chacune): 1-Durcissement par affinement de la taille des grains 2-Durcissement par écrouissage 3-Durcissement par solution solide</p> <p>Mécanismes : 1 & 2 & 3 : Rendre le mouvement des dislocations plus difficile, ou augmentation de taux critique (0.5pt)</p> <p>1- Plus de joints de grains donc plus d'obstacles (au mouvement des dislocations) (0.5pt)</p> <p>2- Augmentation de la densité de dislocation <u>OU</u> Diminution du pas - ou distance entre les nœuds/points-d'ancrage des dislocations (0.5pt)</p> <p>3- Distorsion du réseau cristallin et formation d'un nuage de Cottrel (0.5pt)</p>	

Question N°5

Unité 6 – Durcissement structural

(4 points)

Pour répondre aux questions a) et b), utilisez le diagramme d'équilibre Al-Cu de la Figure 6.

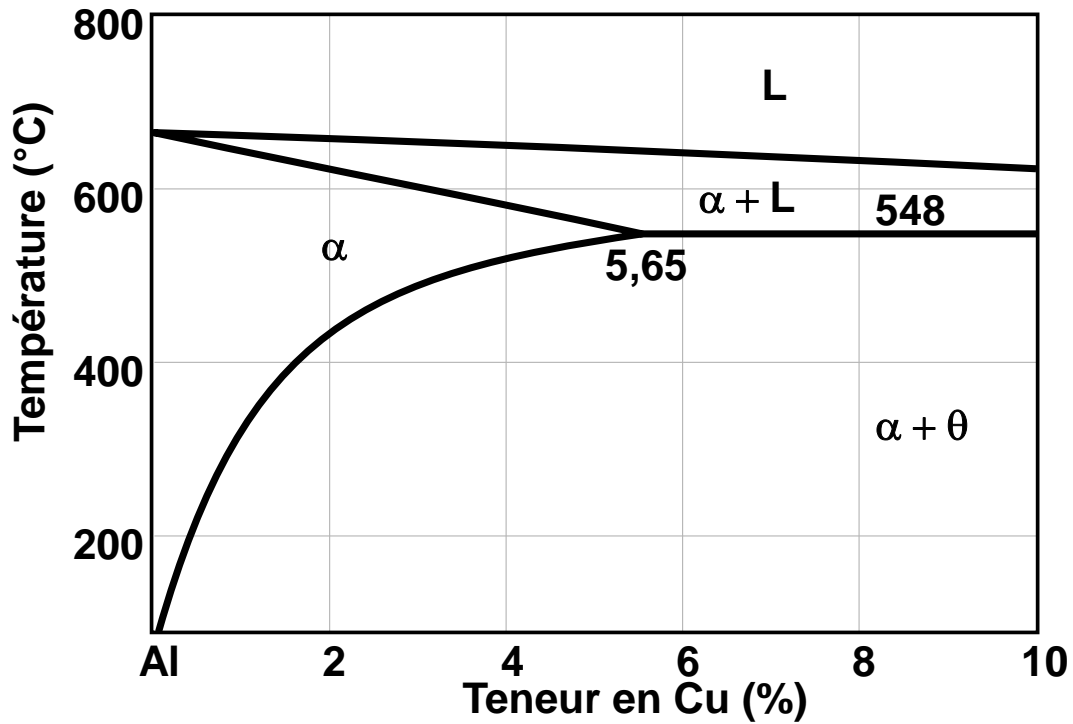


Figure 6 : Diagramme binaire Al-Cu. La phase θ (CuAl_2) est caractérisée par une composition massique de 53 % Cu à sa température de fusion.

a) Nommez les étapes d'un traitement de durcissement structural ? (1,5 point)

Réponse : N'utilisez que les lignes nécessaires

Étape 1 :	Mise en solution (0.5pt)
Étape 2 :	Trempe (0.5pt)
Étape 3 :	Vieillissement (artificiel) (0.5pt)
Étape 4 :	-0.5pt par étape additionnelle

b) Pour un alliage Al-Cu contenant 7,5 % massique de cuivre, quelle(s) est(sont) la(les) phase(s) en présence à la fin de la première étape ? (0,5 point)

Phase(s) en présence ?	Réponse : $\alpha + \theta$
------------------------	-----------------------------

- c) Pour un alliage Al-Cu contenant 4,5 % massique de cuivre, on désire réaliser un traitement de durcissement structural donnant les propriétés minimales suivantes :
- limite élastique de 350 MPa,
 - allongement à la rupture de 15 %.

À partir des courbes de vieillissement de la Figure 7, déterminez la température et le temps de vieillissement si, pour des raisons économiques, ce temps **ne peut excéder 10 heures**.

Justifiez votre réponse.

(2 points)

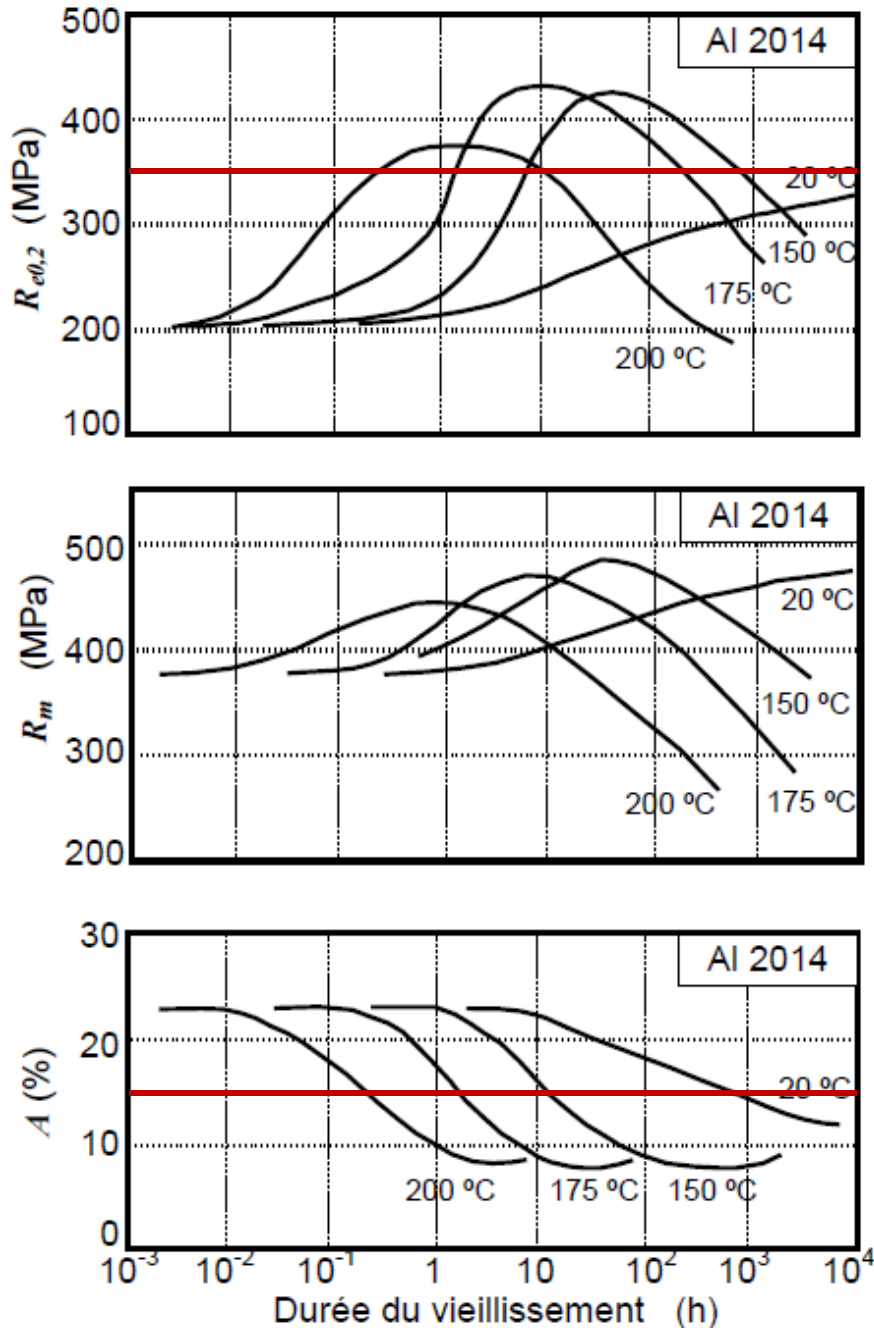


Figure 7 : Courbes de vieillissement de Al 2014 (4,5 % Cu)

Réponse et justification :**Re₀₂ : 175°C entre 2 et 10 heures****A (%) : 175°C pour 2 heures****DONC 175°C pour 2 heures****OU****Re₀₂ : 200°C entre 0.3 et 10 heures****A (%) : 200°C pour 0.2-0.3 heure****DONC 200°C pour 0.3 heures****Température (1pt)****Temps (1pt) si la température est bonne**

Température :	175°C	Temps :	2 heures
Température :	200°C	Temps :	0.2-0.3 heures
Température :	150°C	Temps :	6 -10 heures

UNE SEULE RÉPONSE SUFFIT