

NOM (en majuscules):

CORRIGÉ

PRÉNOM :

SIGNATURE :

MATRICULE :

SECTION :

COURS ING1035 - MATÉRIAUX

Contrôle N° 2

du 26 mars 2002

de 8h45 à 10h20

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 **25** 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 **8** pages, incluant les annexes (si mentionnés) et le formulaire général.
 - ◆ Le formulaire de réponses comprend **6** pages.
 - ◆ Vérifiez le nombre de pages de votre questionnaire et de votre formulaire de réponse.

1. EXERCICE n° 1

1.a) Nombre de points eutectiques et leur température.

Vous n'êtes pas tenu de compléter toutes les lignes offertes !

Point	Température (°C)
1	596
2	177
----	----

(1 pt)

1.b) Composés définis et leur stœchiométrie.

Donnez le symbole ou la formule chimique du composé défini et répondez par OUI ou NON pour sa stœchiométrie. Vous n'êtes pas tenu de compléter toutes les lignes offertes !

Composé	Stœchiométrie
β	NON
γ	OUI
ε (Al ₄ Li ₉)	OUI
----	----
----	----

(1,5 pt)

1.c) Formule chimique de la phase γ.

Justification :

Exprimée en % atomique, la composition de la phase γ est égale à 60 % (lecture sur l'échelle horizontale du haut de la figure).

Par conséquent, le rapport Al/Li de cette phase est égal à 40/60 = 2/3.

La formule chimique est donc →

Al₂Li₃

(1 pt)

1.d) Composition nominale C₀.

Justification :

(Voir figure en annexe) À 400 °C, les phases en présence :

phase γ telle que C_γ = 28 %m. Li et phase liquide telle que C_L = 62 %m. Li.

La composition C₀ recherchée pour l'alliage considéré est déduite de la règle des bras de leviers :

$$C_0 = C_\gamma + f_L(C_L - C_\gamma) = C_L - f_\gamma(C_L - C_\gamma)$$

Ici, f_L = f_γ = 50% = 0,5.

On obtient donc →

C₀ = 45 %m Li

(1 pt)

1.e) Teneur théorique maximale des alliages Al – Li.

Justification :

C'est la solubilité maximale du Li dans l'aluminium solide (phase α).

Selon le diagramme, on obtient →

C_{max} = 4 %m Li

(1 pt)

1.f) Température optimale de mise en solution des alliages Al – Li.

Justification :

Cette température correspond à celle de l'eutectique L ⇌ α + β (voir diagramme)

Selon le diagramme, on obtient →

T = 596 °C

(0,5 pt)

2. Exercice n° 2

2.a) Température minimale d'austénitisation.

Justification :

Cette température est représentée sur le diagramme TTT par l'isotherme A_3 . C'est la **température minimale** pour laquelle l'acier est en phase γ stable. En pratique, au cours des traitements thermiques, on choisit une température d'austénitisation égale à $(A_3 + 50\text{ °C})$, afin d'être certain que tous les points de la pièce à traiter sont à une température supérieure à A_3 .

T = 790 °C

(1 pt)

2.b) Température de trempe pour obtenir une dureté de 20 HRC

T = 650 °C

(1 pt)

2.c) Constituants présents à 40 secondes.

Cochez la case appropriée :

Constituant(s)		Constituant(s)	
Austénite stable		Austénite instable + bainite	
Austénite instable		Austénite instable + martensite	
Austénite instable + ferrite	X	Perlite grossière	
Austénite instable + cémentite		Perlite moyenne	
Austénite instable + perlite fine		Perlite fine	
Austénite instable + perlite moyenne		Bainite supérieure	
Austénite instable + perlite grossière		Bainite inférieure	

(1 pt)

2.d) Temps total de transformation.

t = 600 s

(1 pt)

2.e) Constituants présents après transformation.

Cochez la case appropriée :

Constituant(s)		Constituant(s)	
Austénite stable		Perlite grossière	
Austénite instable		Perlite moyenne	
Austénite + ferrite		Perlite fine	
Austénite + perlite fine		Ferrite + perlite grossière	
Austénite + perlite moyenne		Ferrite + perlite moyenne	X
Austénite + perlite grossière		Ferrite + perlite fine	
Austénite + bainite		Ferrite + bainite	

(1 pt)

2.f) **Constituants présents si trempe après 40 secondes.**
 Cochez la case appropriée :

Constituant(s)		Constituant(s)	
Austénite stable		Perlite + martensite	
Austénite instable		Ferrite + martensite	X
Austénite instable + ferrite		Ferrite + bainite	
Austénite instable + cémentite		Bainite + martensite	
Austénite instable + perlite		Martensite	
Austénite instable + bainite		Bainite supérieure	
Austénite instable + martensite		Bainite inférieure	

(1 pt)

2.g) **Traitements pour obtenir une dureté de 44 HRC.**
 Vous n'êtes pas tenu d'utiliser toutes les lignes du tableau qui vous sont offertes !

Traitement	Étape	Température (°C)	Durée (s)
A	Austénitisation complète	(A₃ + 50) = 840	Selon les dimensions de la pièce
	Trempe isotherme	≈ 370	> 200
	Refroidissement	20	quelconque
	-----	-----	-----
B	Austénitisation complète	(A₃ + 50) = 840	Selon les dimensions de la pièce
	Trempe	20	instantanée
	Revenu	440	7200 (2 h)
	-----	-----	-----

(3 pts)

3. Exercice n° 3

Justification :

Considérons tout d'abord le cas des séries 1 et 3 (même entaille mais hauteur de chute du pendule différente). La hauteur de chute pour la série 3 étant plus élevée, la vitesse d'impact du pendule avec l'éprouvette est plus élevée, donc la vitesse de sollicitation de l'acier est plus grande. Par conséquent, ceci rend l'acier plus fragile à une température donnée. On en déduit que **la courbe associée à la série 3 doit être à droite de celle associée à la série 1 (vers de plus hautes températures).**

Considérons maintenant le cas des séries 1 et 2 (entaille différente mais hauteur de chute du pendule identique). La série 2 ayant une entaille en U moins sévère que celle en V de la série 1, la concentration de contraintes y est plus faible et, à une température d'essai donnée, l'acier manifestera un comportement plus tenace. On en déduit que **la courbe associée à la série 2 doit être à gauche de celle associée à la série 1 (vers de plus basses températures).**

Courbe	Série
A	2
B	3
C	1

(3 pts)

4. Exercice n° 4

4.a) Amplitude de contrainte σ_a .

Justification :

Contrainte maximale $\sigma_{\max} = 4F_{\max}/\pi D^2 = 500$ MPa; Contrainte minimale $\sigma_{\min} = 4F_{\min}/\pi D^2 = 100$ MPa

Par définition, $\sigma_a = \frac{1}{2}(\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) = \frac{1}{2}(500 - 100) = 200$ MPa

$$\sigma_a = 200 \text{ MPa}$$

(0,5 pt)

4.b) Rapport R de chargement.

Justification :

Par définition, $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max} = 100/500 = 0,2$

$$R = 0,2$$

(0,5 pt)

4.c) Durée de vie.

Durée de vie $N = 5 \times 10^5$ cycles.

Pour $f = 0,01$ Hz, il y a 36 cycles à l'heure, donc $36 \times 24 = 864$ cycles /jour

$$t = 578 \text{ jours}$$

(1 pt)

4.d) Amplitude de contrainte pour avoir une durée de vie infinie.

C'est la limite d'endurance lue sur la courbe pour $R = 0,2$

$$(\sigma_a)_{\infty} = 150 \text{ MPa}$$

(1 pt)

4.e) Diamètre D pour avoir une durée de vie infinie.

Justification :

Puisque la contrainte est inversement proportionnelle au carré du diamètre, le nouveau diamètre D_1 est tel que :

$$(D_1/D_0)^2 = \sigma_a / (\sigma_a)_{\infty} = 200/150$$

$$\text{Donc } D_1 = D_0(200/150)^{1/2} = 100 \times (200/150)^{1/2} = 115,5$$

$$D = 115,5 \text{ mm}$$

(1 pt)

4.f) Imminence de la rupture.

Répondez par OUI ou NON et justifiez quantitativement votre réponse :

Le facteur d'intensité de contrainte **K**, associé à la fissure de profondeur **a**, est égal à :

$$K = \alpha \sigma_{\max} (\pi a)^{1/2} = 1,25 \times 500 \times (\pi \times 0,002)^{1/2} = 49,54 \text{ MPa.m}^{1/2}$$

Puisque la valeur de **K** est inférieure à celle du facteur critique d'intensité de contrainte **K_{IC}** (= 90 MPa.m^{1/2}) de l'acier, **il n'y a pas risque imminent de rupture de l'axe.**

NON

(2 pts)

4.g) Réalisme de l'hypothèse.

Répondez par OUI ou NON et justifiez votre réponse :

La vitesse de propagation **da/dN** de la fissure est donnée par la relation de Paris :

$$da/dN = C \Delta K^n = C [\alpha (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) (\pi a)^{1/2}]^n$$

avec l'exposant **n > 1** (en général, **n** est compris entre 3 et 4 pour les aciers)

Par conséquent, même si la variation de contrainte (**σ_{max} - σ_{min}**) reste constante, la vitesse de propagation **da/dN** est proportionnelle à **a^{n/2}**.

La vitesse de propagation da/dN ne reste pas constante et croît quand la longueur a de la fissure augmente. Faire l'hypothèse d'une vitesse de propagation da/dN constante pour calculer la durée de vie restante de l'axe conduirait donc à une surestimation dangereuse de cette durée de vie.

NON

(1 pt)

ANNEXES

