

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 .

$T = 790\text{ °C}$

 (1 pt)

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

$T = 650\text{ °C}$

 (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.

$t = 600\text{ s}$

 (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

$\sigma_a = 200$ 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

$t = 578$ 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 $R = 0,2$

$(\sigma_a)_{\infty} = 150$ 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 :

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

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

$D = 115,5$ 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

