



ÉCOLE
POLYTECHNIQUE
MONTREAL

Questionnaire
Examen Final

MTR2000

Sigle du cours

CORRIGÉ

*Le génie
sans frontières*

Identification de l'étudiant(e)				Réservé
Nom :		Prénom :		Q1
Signature :		Matricule :	Groupe :	/7
Sigle et titre du cours		Groupe		Q2
MTR2000 Matériaux métalliques		Tous		/6
Professeurs		Local		Q3
Richard Lacroix				/9
Jour		Date	Durée	Q4
Vendredi		30 avril 2010	2 h 30	/7
Heures		13 h 30 - 16 h		Q5
Documentation		Calculatrice		/6
<input checked="" type="checkbox"/> Aucune <input type="checkbox"/> Toute <input 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.
Directives particulières				
1. Les nombres entre parenthèses indiquent le nombre de points accordés à la question, le total est de 35 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.				
Important	Cet examen contient 5 questions sur un total de 9 pages. (incluant cette page)			
	La pondération de cet examen est de 35 %			
	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			

/35

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

QUESTION N°1**Fonderie et moulage****(7 points)**

L'alliage d'aluminium 356.0 [7 % Si (silicium); 0,3 % Mg (magnésium); Al (aluminium), le reste] est utilisé pour la coulée en coquille par gravité de nombreuses pièces de fonderie. De plus, des inoculants (TiB_2) sont ajoutés au métal liquide avant la coulée.

a) Quel est l'intérêt d'ajouter des inoculants ? (1 point)

L'ajout d'inoculants permet d'obtenir une microstructure constituée de grains équiaxes fins ayant une faible distance interdendritique.

b) Quel est l'intérêt de faire une coulée en coquille (moule métallique) plutôt qu'une coulée dans un moule en sable du point de vue des propriétés et de la microstructure ? (2 points)

L'utilisation de moules métalliques au lieu de moules en sable permet d'avoir une vitesse de refroidissement plus grande et d'obtenir une microstructure constituée de grains équiaxes fins ayant une faible distance interdendritique.

Il en résulte de meilleures propriétés mécaniques : une plus grande résistance (R_m) et une plus grande ductilité (A).

c) Quels sont les constituants de la microstructure et leur morphologie ?

- Utilisez le diagramme d'équilibre Al-Si de la page suivante et négligez l'addition de Mg dans le calcul des proportions des constituants.
- Faites un croquis de la microstructure. (2 points)

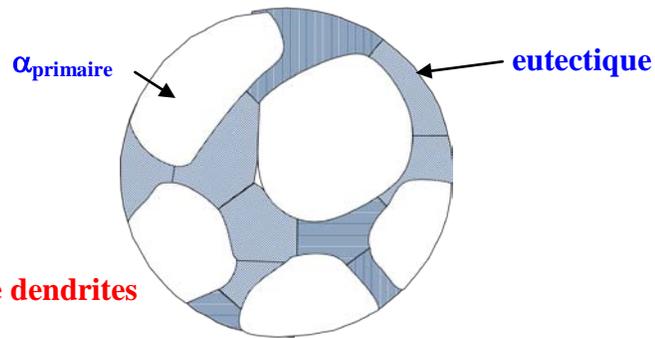
Proportion des constituants :

L'alliage sera constitué de phase α primaire et de constituant eutectique.

$$f_{\alpha \text{ primaire}} = \frac{(12,7 \% - 7 \%)}{(12,7 \% - 1,65 \%)} = 51,6 \%$$

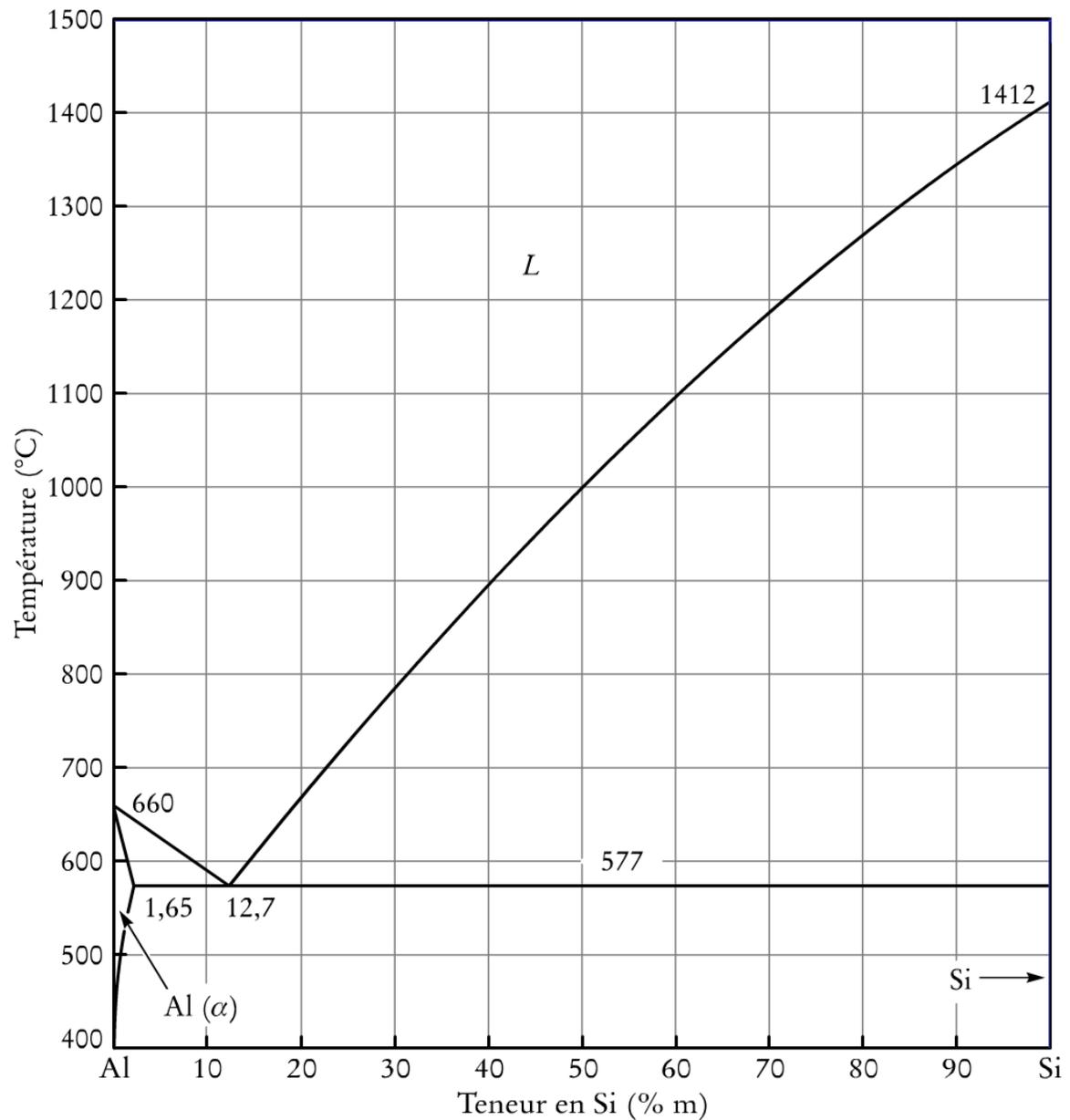
$$f_{\text{eutectique}} = 1 - f_{\alpha \text{ primaire}} = 48,4 \%$$

Croquis :



**Si α_{primaire} en forme de dendrites
alors bonus de 1 point.**

Diagramme d'équilibre Al-Si



d) Dans quel but ajoute-t-on du magnésium dans la composition de l'alliage ? (2 points)

L'ajout de magnésium permet de faire du durcissement structural à l'aide de précipités intermédiaires menant aux précipités d'équilibre Mg_2Si .

QUESTION N°2 Mise en forme de l'aluminium à chaud (6 points)

Entre le lingot ou la billette de coulée continue et le produit fini, il y a une ou plusieurs étapes de mise en forme à chaud suivies, éventuellement, par d'autres étapes de mise en forme à froid.

a) Pourquoi commence-t-on toujours par une mise en forme à chaud ? (1 point)

Pour corroyer la structure de coulée (transformation de dendrites en grains fins) et pour déformer plus facilement le métal.

b) Quel type de texture peut-on retrouver dans la structure d'un alliage d'aluminium déformé à chaud ? Donnez-en un exemple. (2 points)

Une texture morphologique seulement.

Exemples :

- **Fibrage inclusionnaire**
 - **Grains allongés**
-

c) Comment cette texture induit-elle une anisotropie de la résistance en fatigue des pièces en service ? (2 points)

Il y a une faible résistance à l'amorçage et à la propagation des fissures dans le sens des fibres. Il faut éviter de couper les fibres (par usinage) dans les zones potentielles d'amorce.

- d) À part leur anisotropie, les propriétés mécaniques peuvent varier à travers l'épaisseur de tôles fortes (5 cm et plus) laminées à chaud. Quelle en est la cause ? (1 point)

La ségrégation majeure de la billette (ou lingot) subsiste et si la déformation à cœur n'est pas assez importante, les porosités et/ou soufflures ne sont pas refermées ou les grains n'ont pas été suffisamment affinés.

QUESTION N°3 Mise en forme de l'aluminium à froid (9 points)

Entre le lingot ou la billette de coulée continue et le produit fini, il y a une ou plusieurs étapes de mise en forme à chaud suivies, par d'autres étapes de mise en forme à froid.

- a) Les procédés de déformation à froid ne requièrent pas de chauffage continu mais ils comportent deux contraintes importantes. Lesquelles ? (1 point)

- 1. La contrainte d'écoulement est élevée;**
- 2. La ductilité est réduite.**

- b) Quels sont, par contre, les intérêts à continuer la mise en forme par déformation à froid ? Nommez-en deux. (1 point)

- 1. Obtention de bons finis de surface;**
- 2. Absence d'oxydation du métal;**
- 3. Capacité d'obtenir un bon contrôle dimensionnel permettant de réduire l'usinage.**
- 4. Durcissement par écrouissage.**

Des produits de mêmes dimensions (par exemple, des tôles d'alliage 5052 d'un millimètre d'épaisseur) sont disponibles sur le marché à différents niveaux d'écrouissage (par exemple : H34, H38, ...).

- c) Quel paramètre de fabrication modifie-t-on pour obtenir ces différents niveaux d'écrouissage ? (1 point)

Le dernier écrouissage est effectué à une épaisseur telle que la réduction finale confère au métal le niveau d'écrouissage souhaité.

La structure du métal laminée à froid présente des textures d'écroutissage.

d) De quoi s'agit-il ? (2 points)

D'une texture morphologique et d'une texture cristallographique : les grains sont de plus en plus allongés et orientés à mesure que la déformation augmente.

e) Quelles propriétés mécaniques pourront être affectées par ces textures ? (1 point)

Le module d'Young (E) et la limite d'élasticité ($R_{e0,2}$).

f) Comment seront affectées ces propriétés mécaniques ? (1 point)

Il y a anisotropie de E et de $R_{e0,2}$ dans le plan de la tôle.

Les passes de laminage ou de tréfilage à froid sont entrecoupées périodiquement de recuits de recristallisation. La déformation entre deux recuits ne doit être ni trop grande, ni trop petite.

g) Pourquoi ne doit-elle pas être trop grande ? (1 point)

Il y a un risque de rupture ductile si le métal est trop écroui.

h) Et pourquoi la déformation ne doit pas être trop petite ? (1 point)

Il faut s'assurer d'obtenir une recristallisation avec des grains suffisamment petits.

QUESTION N°4**Traitements thermiques****(7 points)**

- a) Pourquoi choisit-on plus souvent les aciers alliés que les aciers au carbone pour faire des traitements thermiques de trempe et de revenu ? (1 point)

Parce que les aciers alliés ont une meilleure trempabilité que les aciers au carbone.

-
- b) Indépendamment de la grande dureté que confère la structure martensitique à un acier, quelles sont les particularités de la transformation martensitique par rapport aux transformations bainitiques ou perlitiques ? (2 points)

Il y a une transformation cristallographique instantanée en une seule phase de même composition que l'austénite initiale ($\gamma \rightarrow M$).

De plus, cette transformation est contrôlée par la température et non pas par le temps (pour permettre la diffusion du carbone).

-
- c) Un deuxième traitement thermique de revenu est effectué après la trempe pour adoucir la martensite trop dure et trop fragile. Que veut-on dire par traitement de « revenu » ? (1 point)

On entend par revenu un retour partiel vers l'état d'équilibre : une décomposition partielle de la martensite (M) en ferrite α et en cémentite Fe_3C .

-
- d) Vous souhaitez modifier une structure martensitique revenue en une structure bainitique pour avoir une meilleure combinaison dureté-ténacité. La figure de la page suivante donne le diagramme TTT de l'acier. Après austénitisation, à quelle température ferez-vous la trempe, quelle sera la durée du maintien à cette température et quelle sera la dureté de l'acier après ce traitement ? (1,5 point)

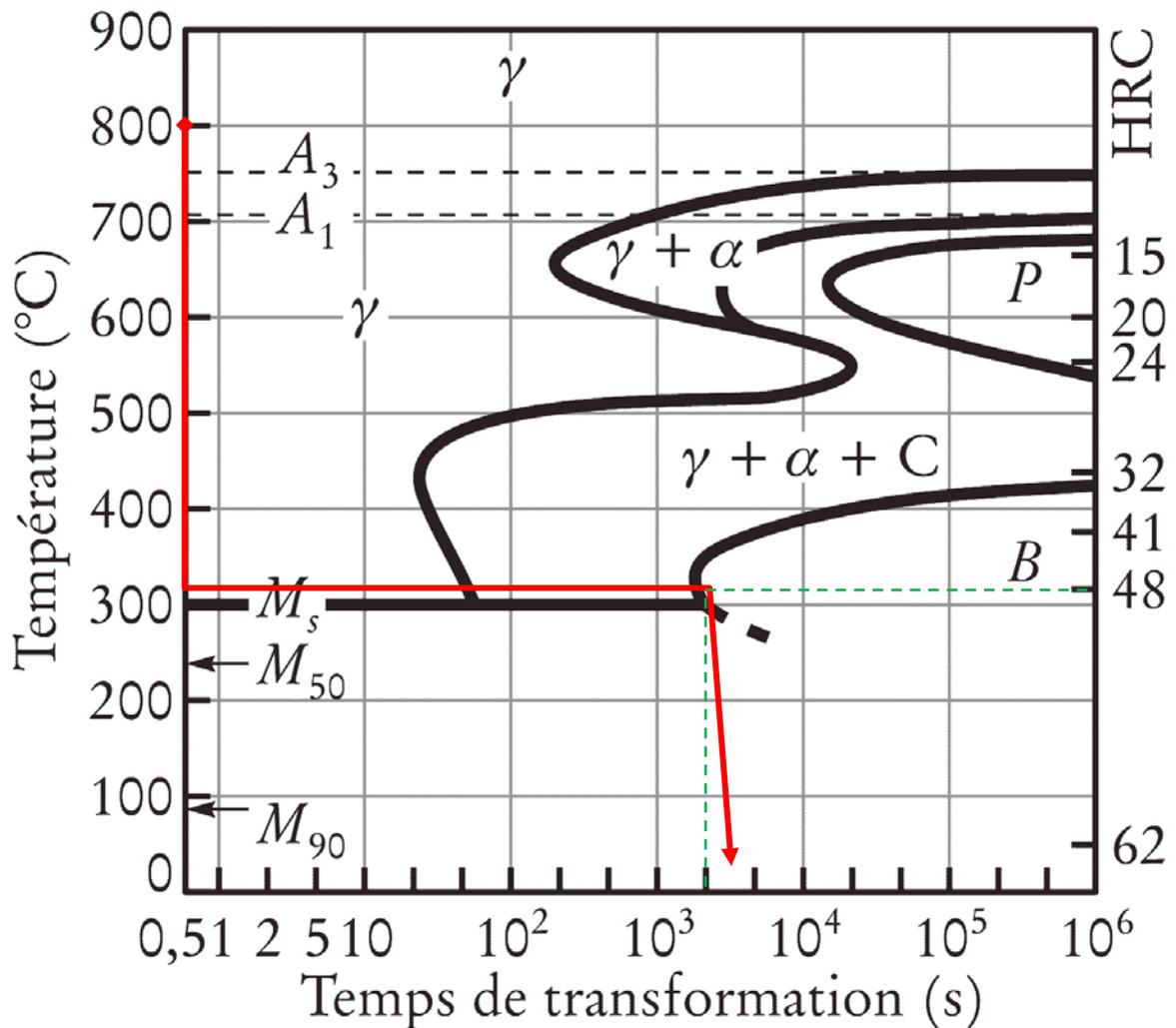
Température : 320 °C

Durée de maintien : 2000 secondes

Dureté : 48 HRC

Note : C'est la bainite inférieure qui donne la meilleure combinaison dureté-ténacité.

Courbe TTT de l'acier



- e) Si vous disposez d'un tel diagramme pour différents aciers, comment pourriez-vous comparer qualitativement leur soudabilité ? (1,5 point)

On pourrait faire une évaluation qualitative en comparant le temps nécessaire pour que l'austénite instable (γ entre A_1 et M_s) commence à se transformer en produits prévus au diagramme d'équilibre (α et C sous forme de perlite ou de bainite). Plus ce temps est grand, meilleure est la trempabilité. Et, en général, plus un acier est trempant, moins il est soudable.

QUESTION N°5**Soudage d'un acier****(6 points)**

- a) Dans le cas d'un acier au carbone, pourquoi les structures et les propriétés du métal de base sont-elles modifiées dans la zone affectée thermiquement (ZAT) ? (2 points)

Parce que, dans la zone affectée thermiquement, il y a un cycle thermique de chauffage et de refroidissement entraînant le métal de cette zone au dessus des températures de transition $\alpha \xrightarrow{A_1} (\alpha + \gamma) \xrightarrow{A_3} \gamma$. Il y a austénitisation au moins partielle (au dessus de A_1) sinon complète (au dessus de A_3) puis refroidissement.

-
- b) Pourquoi la soudabilité des aciers varie-t-elle souvent en sens inverse de leur trempabilité ? (2 points)

Il se forme des structures dures et fragiles dans la zone affectée thermiquement (ZAT) d'un acier trempant : il y a un risque de fissuration à froid sous le cordon de soudure. Ce qui diminue fortement leur soudabilité.

-
- c) Connaissant la composition chimique d'un acier, comment évalue-t-on quantitativement sa soudabilité ? (1 point)

Dans ce cas, on peut se servir de l'indice du carbone équivalent.

-
- d) On rencontre des cas de fissuration à chaud lors de l'assemblage de tôles d'acier inoxydable austénitique. Quelle en est la cause principale ? (1 point)

L'acier inoxydable austénitique est de structure cristalline cubique à faces centrées. Il y aura donc une grande contraction volumique à la solidification qui peut être la cause de problèmes de fissuration à chaud.

Bonne chance.

Richard Lacroix, chargé de cours.