

Comportement Mécanique des Matériaux

EPFL - Cours MSE 234, Section Mécanique Ba3

Examen final du 4 février 2022

Instructions: répondez au propre sur ces feuilles, après avoir écrit votre nom ci-dessous. Si besoin, vous pouvez donner partie de vos réponses (en indiquant le numéro de la question) sur la dernière page de ce document ou ajouter des feuilles supplémentaires en prenant soin d'indiquer votre nom, votre numéro identifiant Sciper et le numéro de la question sur chaque feuille supplémentaire. N'oubliez pas d'indiquer sous le texte de la question qu'une partie de la réponse se trouve ailleurs et où. Insérez lors du ramassage toute feuille supplémentaire entre les feuilles de ce document afin qu'elle ne soit pas perdue.

Aucun document autre que l'énoncé qui suit ne peut être consulté pendant l'examen. La réponse à l'examen est individuelle et composée sans consultation auprès d'autrui.

Si vous avez une question signalez-le en levant votre bras et sans déranger vos camarades. Si votre question est d'intérêt général elle sera écrite avec sa réponse au tableau de toutes les salles de l'examen.

Le nombre de points au total est de

60 pour la partie portant sur les travaux pratiques

200 dont 60 de QCM pour la partie portant sur le cours enseigné

Durée totale de l'examen: 2 heures et 10 minutes (16:20 à 18:30).

(soit 5 minutes pour 10 points)

Le nombre de points alloué à chaque question est indiqué avec son énoncé ou par la mention QCM.

Votre Nom de famille puis votre Prénom :

Votre Numéro identifiant Sciper (= numéro sur carte Camipro):

PARTIE PORTANT SUR LES TRAVAUX PRATIQUES

60 crédits au total

(correspondant à 30 minutes des 130 minutes de l'examen)

La plupart (mais pas toutes) de ces questions sont des questions à choix multiple (QCM, marquées comme telles). Pour chacune de ces questions vous aurez +3 points pour une réponse correcte, -1 point pour une réponse incorrecte. Pour répondre aux QCMs marquez le petit cercle correspondant à votre réponse. Dans chacune des questions une seule option est correcte donc ne marquez qu'un cercle par question (à défaut vous n'aurez pas votre crédit ; si vous faites des ratures ou marquez plus d'un cercle il faudra indiquer avec des mots laquelle des options constitue votre réponse).

Sélection des matériaux

TP1 - QCM

Le logiciel de sélection des matériaux CES EduPack permet la comparaison des propriétés de divers matériaux via des graphiques (ou diagrammes d'Ashby), ainsi que la transposition de designs conceptuels en :

- contraintes (pour présélectionner/filtrer les options parmi toutes les possibilités de matériaux et de procédés) et objectifs (pour classer lesdites options selon les propriétés choisies pour qu'elles soient maximisées/minimisées)
- objectifs (pour présélectionner/filtrer les options parmi toutes les possibilités de matériaux et de procédés) et contraintes (pour classer lesdites options selon les propriétés choisies pour qu'elles soient maximisées/minimisées)
- fonctions (pour présélectionner/filtrer les options parmi toutes les possibilités de matériaux et de procédés) et contraintes (pour classer lesdites options parmi les possibilités)
- variables libres (pour présélectionner/filtrer les options parmi toutes les possibilités de matériaux et de procédés) et fonctions (pour classer lesdites options selon les propriétés choisies pour être maximisées/minimisées)

TP2 - Donnez deux exemples chacun (et pas plus) pour :

Des objectifs :

Des contraintes :

(4 points)

Essai de Traction

TP3 - QCM

Lors d'un essai de traction uniaxiale il vaut mieux utiliser un extensomètre pour mesurer l'allongement de la section réduite de l'échantillon au lieu de le déduire par une mesure précise du déplacement de la traverse car :

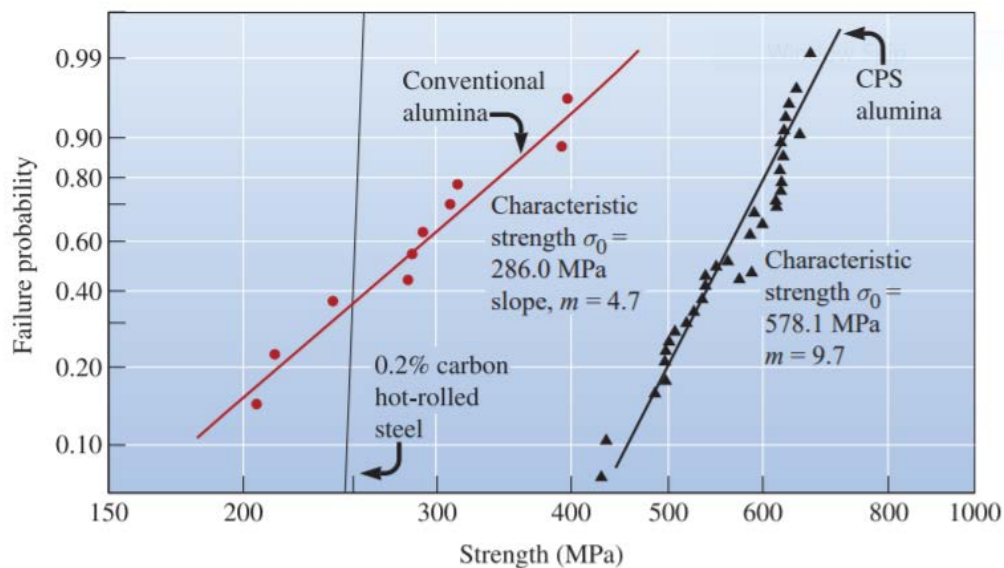
- la traverse ne bouge pas lors de l'essai de traction,
- le déplacement de la traverse excède l'allongement de la section réduite du barreau de traction par une quantité qui peut être non négligeable et qui va entacher la mesure de l'allongement relatif du barreau d'erreurs absentes avec l'extensomètre
- le déplacement de la traverse est inférieur à l'allongement de la section réduite du barreau de traction par une quantité qui peut être non négligeable et qui va entacher la mesure de l'allongement relatif du barreau d'erreurs absentes avec l'extensomètre
- la mesure du déplacement de la traverse ne peut pas être faite avec une précision aussi grande que la mesure du déplacement des points d'attache de l'extensomètre.

TP4 - QCM

Pour mener un essai de traction à vitesse de déformation vraie $d\varepsilon/dt$ constante il faut :

- que la vitesse d'avancée de la traverse soit constante
- que la vitesse d'avancée de la traverse divisée par sa distance parcourue soit constante
- que la vitesse d'avancée de la traverse soit asservie de façon à ce qu'un extensomètre mesurant la déformation de la zone réduite de l'échantillon maintienne constante la vitesse de séparation de ses bras
- que la vitesse d'avancée de la traverse soit asservie de façon à ce qu'un extensomètre mesurant la déformation de la zone réduite de l'échantillon maintienne constante la vitesse de séparation de ses bras divisée par leur séparation instantanée

Statistique de Weibull



TP 5 - Ci-dessus vous trouverez dans le graphe les courbes de Weibull de trois matériaux (sur un graphe dont l'ordonnée est adaptée pour donner une droite si la loi de Weibull est obéie): deux types d'alumine et un acier au carbone.

(a) - QCM

La courbe pour l'acier est pratiquement verticale car :

- Il ne contient aucun défaut
- Sa surface externe est plus lisse que celle des céramiques
- Son module d'Young est plus faible que celui de l'alumine
- Sa ténacité est nettement plus élevée que celle de l'alumine

(b) – QCM

La courbe pour l'alumine CPS est située à la droite de celle de l'alumine conventionnelle car:

- Elle est produite pour contenir des pores ou fissures moins grands que dans l'alumine conventionnelle
- Elle est produite pour contenir des pores ou fissures de tailles ou morphologies moins largement distribuées que dans l'alumine conventionnelle
- Son module d'Young est plus faible que celui de l'alumine conventionnelle
- Sa ténacité est nettement plus élevée que celle de l'alumine conventionnelle

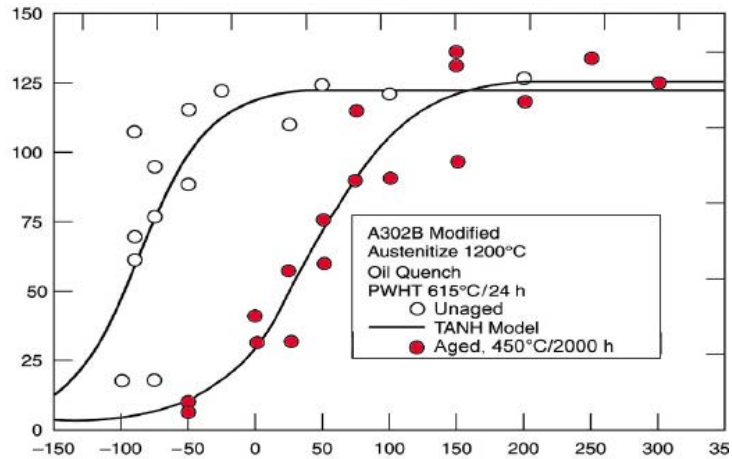
(c)– QCM

La courbe pour l'alumine CPS a un module de Weibull plus élevé que celle de l'alumine conventionnelle car:

- Elle est produite pour contenir des pores ou fissures moins grands que dans l'alumine conventionnelle
- Elle est produite pour contenir des pores ou fissures de tailles ou morphologies moins largement distribuées que dans l'alumine conventionnelle
- Son module d'Young est plus faible que celui de l'alumine conventionnelle
- Sa ténacité est nettement plus élevée que celle de l'alumine conventionnelle

Résilience

TP 7 - Ci-dessous vous trouverez une courbe de données émanant d'un essai Charpy.

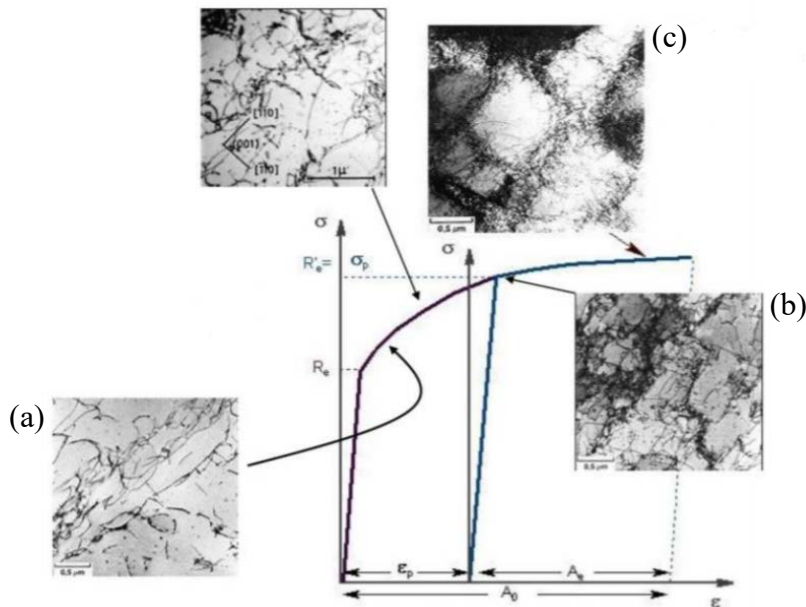


Pouvez-vous :

- (a) ...indiquer, sur l'axe des abscisses et sur celui des ordonnées du graphe ci-dessus, la nature et l'unité des quantités qui y sont rapportées?
(4 points)
- (b) ...dire lequel des deux aciers (unaged/aged) est le plus performant toutes chose égales par ailleurs ?
(2 points ; il faudra justifier votre réponse pour avoir le total des points)

Ecrouissage et recuit

TP 8 - Les micrographies dans les figures ci-dessous montrent l'évolution de la structure interne d'un métal pur au sein d'un de ses cristaux suite à sa déformation lors d'un essai de traction. Au fort grossissement de ces micrographies, prises au microscope électronique à transmission, les lignes noires sur fond gris correspondent chacune à une dislocation.



QCM

Quelle est la phrase exacte dans ce qui suit ? :

- Si je décharge le matériau à partir du point (b) les dislocations restent grosso modo en place
- Si je décharge le matériau à partir du point (b) les dislocations s'annihilent et je trouve une microstructure qui ressemble à celle en (a)
- Si je décharge le matériau à partir du point (b) les dislocations se multiplient et je trouve une microstructure qui ressemble à celle en (c)
- Si je continue à déformer le matériau au-delà de la structure en (c) sa structure va évoluer pour tendre vers celle en (a).
-

TP 9 - QCM

La restauration d'un métal écroui correspond au phénomène suivant :

- L'énergie emmagasinée lors de l'écrouissage via la création de dislocations et de défauts ponctuels est utilisée pour permettre leur multiplication sans permettre l'apparition de nouveaux grains
- L'énergie emmagasinée lors de l'écrouissage via la création de dislocations et de défauts ponctuels est utilisée pour permettre leur annihilation mutuelle partielle et/ou leur réarrangement sans permettre l'apparition de nouveaux grains
- L'énergie emmagasinée lors de l'écrouissage via la création de dislocations et de défauts ponctuels est utilisée pour permettre le mouvement des joints de grains
- L'énergie emmagasinée lors de l'écrouissage via la création de dislocations et de défauts ponctuels est utilisée pour permettre la germination de nouveaux grains.

TP 10 - QCM

La recristallisation secondaire:

- est une recristallisation ayant lieu après une seconde déformation à froid
- est la recristallisation d'une seconde phase dans un alliage multiphasé
- est la croissance des grains d'un métal recristallisé
- est la formation de précipités menant à un durcissement du métal pendant son recuit.

TP 11 - QCM

Que signifie la notation HV0.1 donnée en rapportant une dureté de 150 HV0.1 ?

- ...que l'on a utilisé un test de dureté Hockwell V avec un déplacement de 0.1 mm
- ...que l'on a utilisé un test de dureté Hockwell V avec un poids de 100g
- ...que l'on a utilisé un test de dureté Vickers avec un déplacement de 0.1 mm
- ...que l'on a utilisé un test de dureté Vickers avec un poids de 100g.

Microstructures

TP 12 - Mettez face à chacun des mots suivants le numéro d'une (et d'une seule) des microstructures ci-dessous où se trouve la chose désignée par le mot en question:

Dendrite : _____

Sphérule : _____

Graphite : _____

Cellule : _____

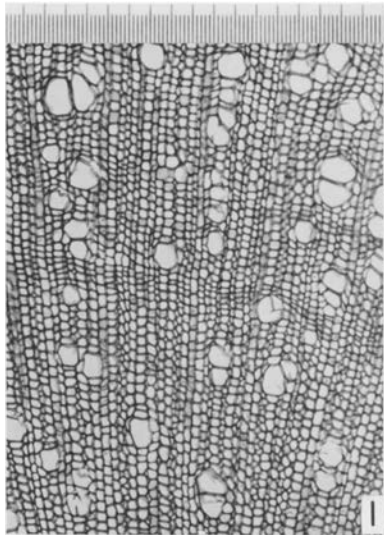
Ferrite : _____

Structure eutectoïde : _____

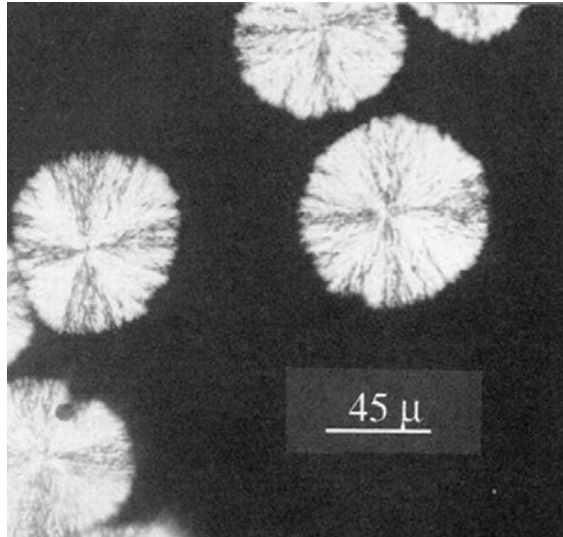
Joint de grain : _____

Matériau amorphe : _____

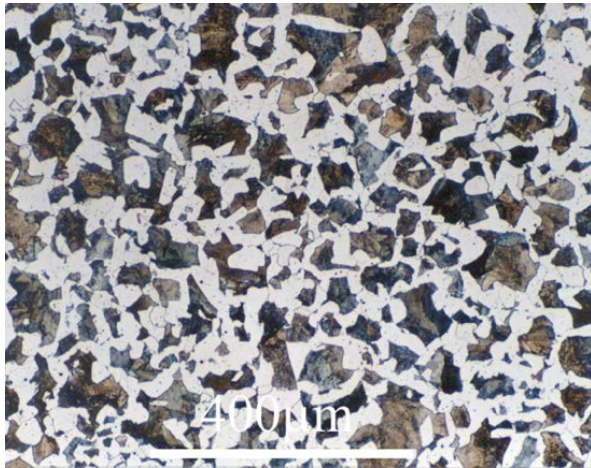
(8 points)



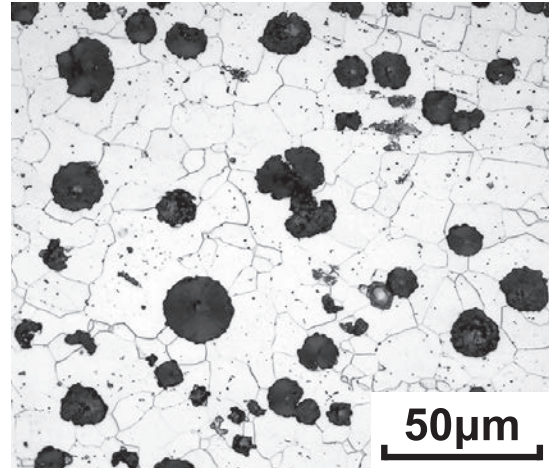
Micrographie 1 (bois)
(1 division = 10 μm)



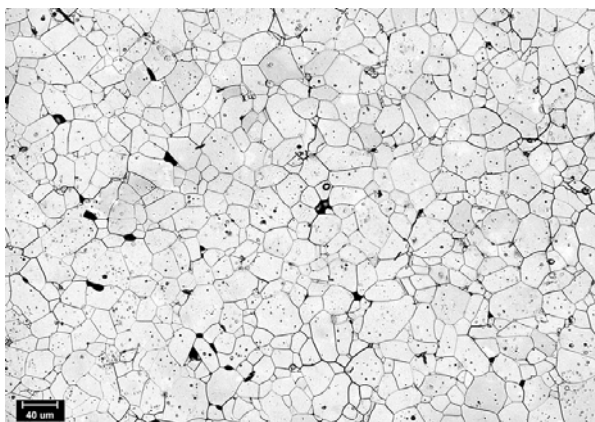
Micrographie 2 (polymère)



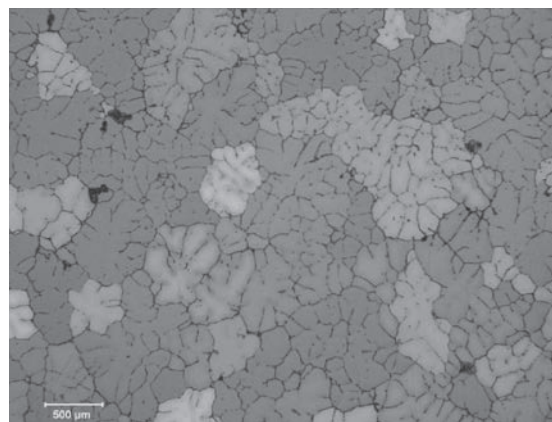
Micrographie 3 (Fe-0.4%C)



Micrographie 4 (Fe-3.4%C-2.5%Si)



Micrographie 5 (céramique)



Micrographie 6 (Al-Cu brut de coulée)

PARTIE PORTANT SUR LE COURS ENSEIGNÉ

QUESTIONS A CHOIX MULTIPLE (QCMs ; 60 POINTS AU TOTAL):

Pour chacune de ces 20 questions, vous aurez +3 points pour une réponse correcte, -1 point pour une réponse incorrecte. Pour répondre marquez le petit cercle correspondant à votre réponse. Dans chacune des questions une seule option est correcte donc ne marquez qu'un cercle par question (à défaut vous n'aurez pas votre crédit ; si vous faites des ratures ou marquez plus d'un cercle il faudra indiquer avec des mots laquelle des options constitue votre réponse).

1 – Les Réserves mondiales d'un métal donné:

- Sont situées dans des lieux géographiques qui sont identifiés avec précision
- Sont indépendantes du prix de l'énergie
- Sont indépendantes de la géopolitique
- Excèdent toujours les ressources mondiales de ce métal

2 – Après sa mise en forme à des températures auxquelles il est malléable, le verre de silice peut être trempé pour :

- Eviter sa fissuration pendant son refroidissement
- Préserver sa forme pendant le refroidissement
- Créer des contraintes internes de compression de long de sa surface
- Eviter les réactions de sa surface en contact avec l'air

3 – La fissuration lente du verre de silice est :

- Sa déformation suite à une sollicitation mécanique lente
- Sa fissuration graduelle dans le temps causée par l'eau
- Une fissuration graduelle de ses joints de grains
- Une augmentation de la ténacité du verre quand on le sollicite lentement.

4 – L'extraction de l'aluminium se fait par

- Pyrolyse d'une matte dans un four à réverbère
- Electrolyse de l'alumine dissoute dans un bain de cryolite fondue
- Attaque de l'alumine avec de la soude caustique
- Dissolution de l'alumine dans l'acide fluorhydrique aqueux suivie d'électrolyse

5 – Le revenu d'un alliage d'aluminium de la série 2xxx sert à :

- Durcir l'alliage par précipitation
- Créer une solution solide homogène
- Adoucir l'alliage par annihilation des dislocations et/ou recristallisation
- Dissoudre ses précipités

6 – Le recuit d'un alliage d'aluminium de la série 5xxx sert à :

- Durcir l'alliage par précipitation
- Créer une solution solide homogène
- Adoucir l'alliage par annihilation des dislocations et/ou recristallisation
- Dissoudre ses précipités

7 – Le bronze à l'étain est connu depuis l'antiquité car :

- Le cuivre est un métal dont le minerai est abondant
- Les oxydes du cuivre et de l'étain peuvent tous deux être réduits dans un four à charbon de bois
- Les oxydes de cuivre et d'étain se trouvent combinés dans la même roche
- C'est un alliage malléable et à faible taux d'érouissage de sorte qu'il est facilement forgé.

8 – La pièce en aluminium dans l'image à droite de ce texte a été produite par :

- Laminage
- Extrusion
- Coulée à haute pression
- Impression 3D



9 – La taille de grain d'un métal ou alliage résultant de la recristallisation

- Diminue si la température de déformation avant recristallisation augmente
- Diminue si la température de recristallisation augmente
- Diminue si le temps de recristallisation augmente
- Diminue si le taux de déformation à froid du métal avant recristallisation augmente

10 – L'alliage 6061 est :

- Un alliage d'aluminium de corroyage contenant du magnésium sans silicium
- Un alliage d'aluminium de corroyage contenant du magnésium et du silicium
- Un alliage d'aluminium de fonderie contenant du magnésium sans silicium
- Un alliage de magnésium contenant du silicium

11 – Si je double le temps de solidification d'un alliage, l'espacement des bras de dendrite :

- Augmente environ par un facteur 2
- Diminue environ par un facteur 2
- Augmente environ par un facteur $2^{1/3}$
- Diminue environ par un facteur $2^{1/3}$

12 – La microstructure d'un acier au carbone contenant 0.2% de carbone refroidi lentement comprendra :

- Environ 15% de ferrite et 85% de perlite
- Environ 25% de ferrite et 75% de perlite
- Environ 50% de ferrite et 50% de perlite
- Environ 75% de ferrite et 25% de perlite

13 - La fragilisation de revenu des aciers est :

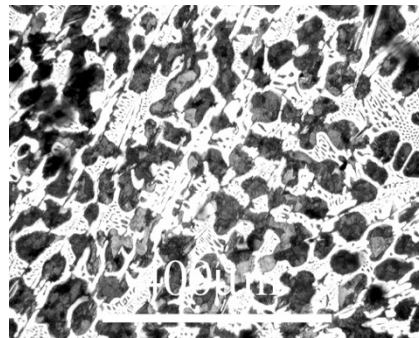
- Causée par la fissuration lors de la trempe
- Une réduction nette de la ductilité de certains aciers due à la ségrégation d'éléments ou d'impuretés lors du revenu de la martensite
- Une sensibilité trop grande du revenu de précipitation au temps de revenu des aciers à durcissement structural secondaire
- Une perte subite du durcissement des aciers lors de leur revenu dans un milieu riche en carbone

14 – Le durcissement secondaire des aciers est :

- Un durcissement masqué par le durcissement plus conséquent apporté par la formation de martensite
- Un durcissement dû à la formation de martensite lors d'une seconde trempe
- Un durcissement dû à la formation de précipités dans l'acier lors de son revenu après trempe martensitique
- Un durcissement par solution solide survenant lors du recuit.

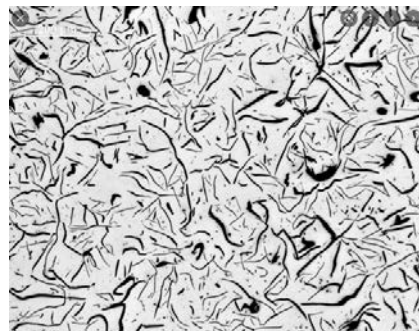
15 – La microstructure dans l'image à droite de ce texte est celle d'une :

- Fonte grise hypereutectique
- Fonte blanche hypereutectique
- Fonte grise hypoeutectique
- Fonte blanche hypoeutectique



16 – La microstructure dans l'image à droite de ce texte d'une fonte refroidie lentement jusqu'à l'ambiante comporte :

- Du graphite et de la ferrite
- De la cémentite et de la ferrite
- Du graphite et de l'austénite
- Du graphite et de la cémentite



17 – Un acier inoxydable contient:

- Au moins 18%massique de chrome et 8%massique de nickel
- Au moins 18%massique de nickel et 8%massique de chrome
- Au moins 12%massique de chrome
- Toujours de la martensite.

18 - Le coefficient de Poisson ν d'un élastomère est égal à :

- 1/3
- 1/4
- 1/2
- -1

19 – Le polyéthylène est un polymère

- qu'on ne peut pas recycler
- thermodurcissable
- produit par vulcanisation
- thermoplastique

20 – La température de transition vitreuse T_g d'un polymère est la température

- au-dessus de laquelle les liaisons secondaires perdent leur rigidité
- au-dessous de laquelle le liquide refroidi devient un solide amorphe
- au-dessus de laquelle le polymère devient transparent
- au-dessous de laquelle le polymère devient transparent

AUTRES QUESTIONS COMPTANT POUR 140 POINTS AU TOTAL:

21 – Vous trouverez en page suivante le diagramme d'Ellingham.

- (a)** - Supposez que je construis un four à charbon de bois dans lequel
- i. j'arrive à réduire l'oxyde d'étain (SnO_2) pour produire de l'étain (Sn),
 - ii. mais je n'arrive pas à réduire l'oxyde de zinc (ZnO) pour produire du zinc (Zn).

Mon four serait-il capable de :

- i. produire du cuivre (Cu) à partir de son oxyde (Cu_2O) ?
- ii. produire de l'aluminium (Al) à partir de son oxyde (Al_2O_3) ?

(5 points; il faudra justifier votre réponse pour avoir le total des points)

(b) - Supposez que dans un haut-fourneau le minerai de fer qui est utilisé comporte des oxydes de nickel en plus d'oxyde de fer. Vous attendez-vous à ce que l'alliage fondu qui coule du bas du haut fourneau contienne aussi du nickel ?

(3 points; il faudra justifier votre réponse pour avoir le total des points)

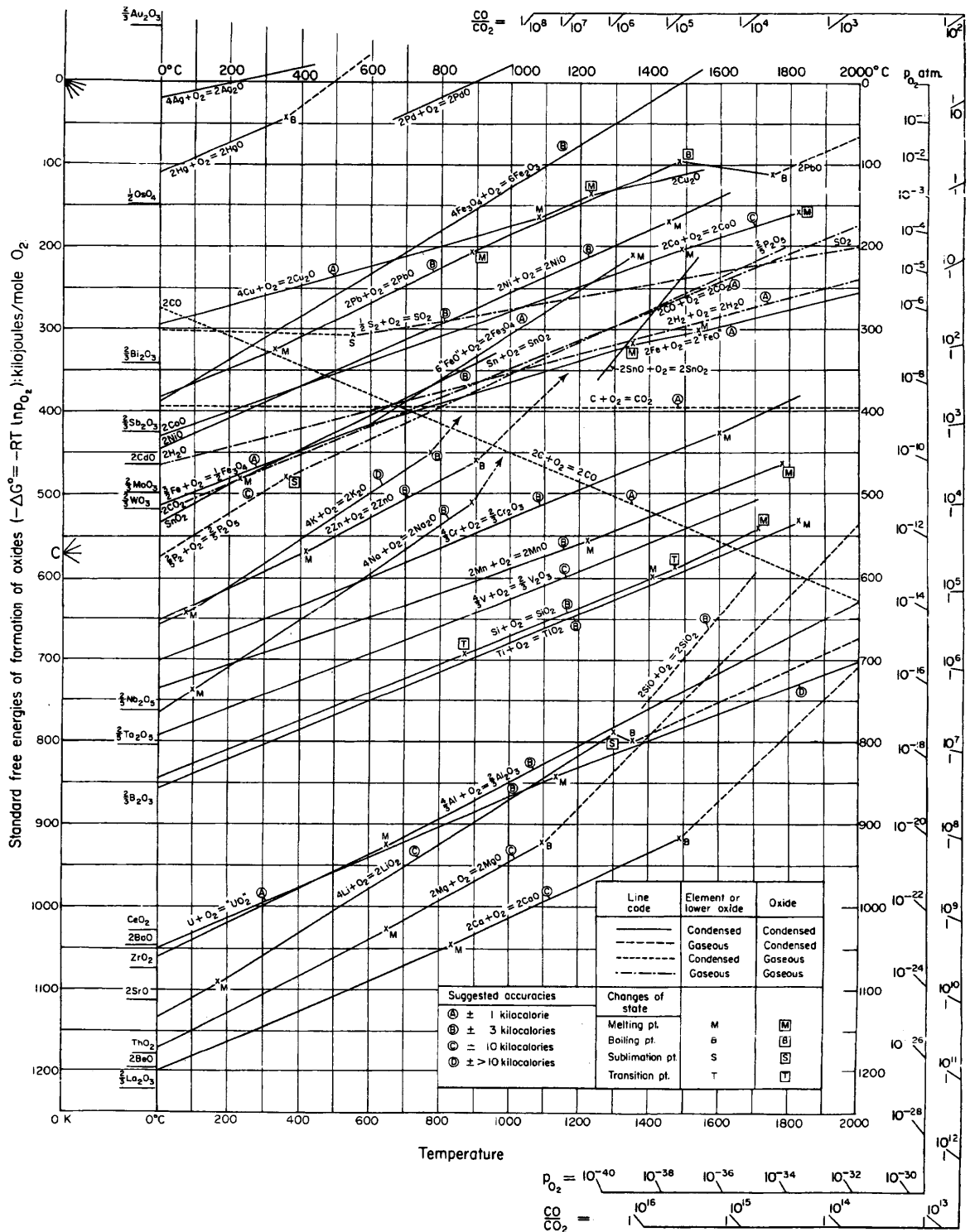


FIGURE IV-7 – Diagramme d'Ellingham.

23 – Le Déformium est un matériau ductile dont la loi de déformation en traction ou compression uniaxiale reliant contrainte vraie (σ) et déformation vraie (ε) est :

$$\sigma = 200 \varepsilon^{0.2} \text{ (MPa)}.$$

quand ε est suffisamment grande pour que la déformation élastique puisse être négligée par comparaison à la déformation plastique. Pour rappel :

- i. l'allongement relatif (e , engineering strain) est relié à la déformation vraie (ε , true strain) par la relation $\varepsilon = \ln(1 + e)$
- ii. la contrainte vraie (σ , true stress) est liée à la charge unitaire (R , engineering stress) par la relation $\sigma = R(1+e)$

(a) – quelles vont être les valeurs de la contrainte vraie (σ) et de la déformation vraie (ε) au moment où la déformation de traction uniaxiale devient instable ?

(7 points ; il faudra justifier votre réponse pour avoir le total des points).

(b) – Un barreau de traction de Déformium a une section réduite mesurant 5 cm de long et 1 cm² d'aire dans le plan perpendiculaire à son axe. Quelle est la charge de traction (en N) maximale que l'on peut appliquer sur ce barreau sans qu'il ne casse ?

(8 points ; il faudra justifier votre réponse pour avoir le total des points)

25 – Ci-dessous vous verrez le diagramme de phase pseudo-binaire entre la silice (SiO_2) et l'alumine (Al_2O_3). Note : la cristobalite est la forme stable de la silice pure aux températures de ce diagramme de phase.

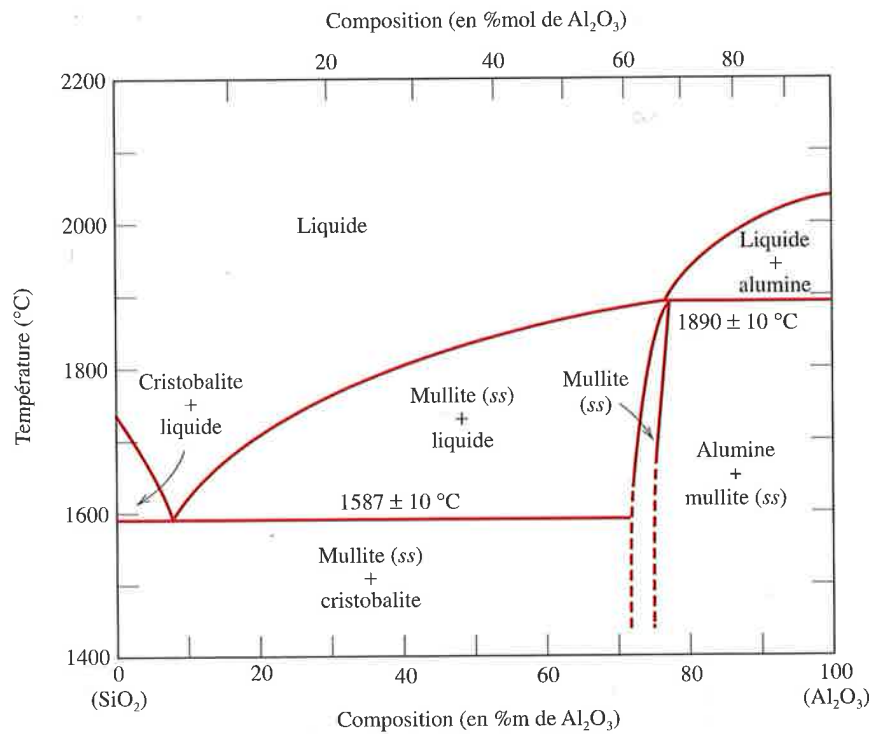


FIGURE 13.26 Diagramme d'équilibre du système silice-alumine.

Adapté de F.J. KLUG, S. PROCHAZKA et R.H. DOREMUS, « Alumina-Silica Phase Diagram in the Mullite Region », *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 70, n° 10, 1987, p. 758. Reproduction autorisée par l'American Ceramic Society.

(a) – À 1500°C quelles sont les phases présentes à l'équilibre thermodynamique dans un mélange de 50%massique d'alumine avec 50%massique de silice ? Donnez la fraction massique approximative de chaque phase en présence. (3 points).

(b) – À 1800°C quelles sont les phases présentes à l'équilibre thermodynamique dans un mélange de 50%massique d'alumine avec 50%massique de silice ? Donnez la fraction massique approximative de chaque phase en présence. (3 points).

(c) - À 1400°C quelles sont les phases présentes à l'équilibre thermodynamique dans une céramique dont la formule atomique s'écrit $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$?
(4 points ; il faudra justifier votre réponse pour avoir le total des points).

(d) – Pourquoi la présence de quelques % d'alumine dans la silice est-elle dangereuse si on veut utiliser la silice en présence d'une contrainte mécanique à des températures avoisinant 1700°C ?
(4 points ; il faudra justifier votre réponse pour avoir le total des points).

26 – Un verre sodocalcique a les propriétés suivantes, supposées indépendantes de la température :

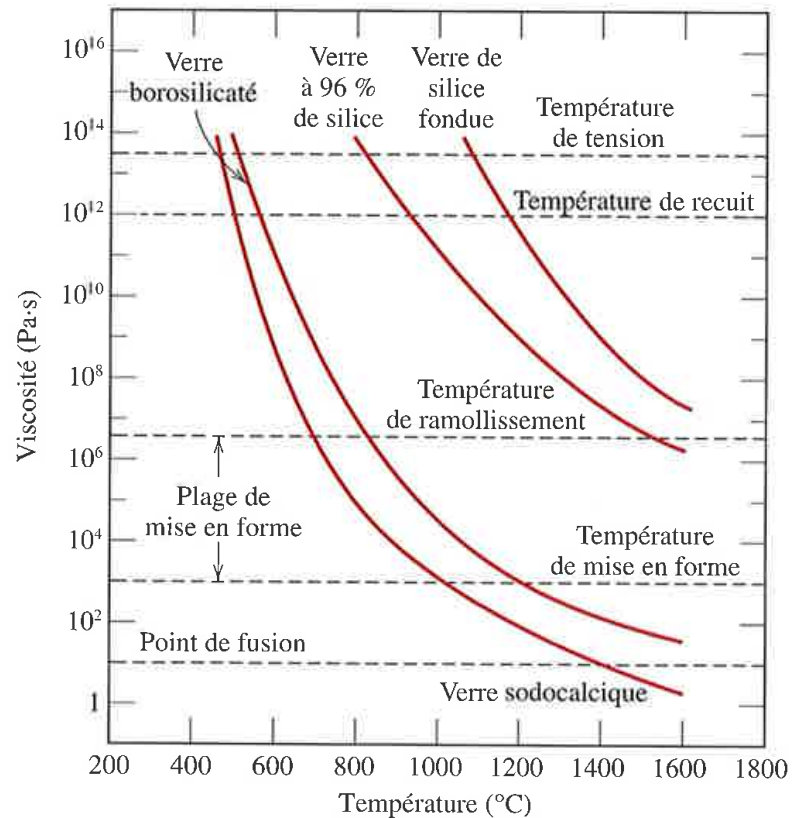
Module d'Young $E = 74 \text{ GPa}$;

coefficient de Poisson $\nu = 0.25$;

coefficient de dilatation thermique $\alpha = 8.5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$;

valeur critique du facteur d'intensité des contraintes (ténacité) $K_c = 0.7 \text{ MPa m}^{1/2}$.

La relation entre sa viscosité et la température est donnée ci-dessous (courbe la plus basse de la série sur la figure).



(a) – Ce verre est mis en forme à 900°C . Quelle est la contrainte (de cisaillement) qui doit être appliquée pour le déformer à une vitesse de déformation (en cisaillement) de 10 s^{-1} ? (2 points ; il faudra justifier votre réponse pour avoir le total des points).

(b) - Quelle est la contraction thermique qui accompagne le refroidissement de ce verre de 900°C à 0°C ?

(2 points ; il faudra justifier votre réponse pour avoir le total des points).

(d) – Si la plaque n'est pas trempée, faisant qu'elle est sans contrainte interne, et si elle comporte une fissure droite de profondeur $a = 0.1$ mm orientée perpendiculairement à la contrainte σ_a appliquée dans son plan lors d'un essai de traction conduit sur un échantillon de la plaque, à quelle valeur de σ_a la plaque va-t-elle casser ?
(5 points ; il faudra justifier votre réponse pour avoir le total des points).

(e) – Si la plaque a subi la trempe décrite dans la question b, puis a été rayée pour contenir la fissure décrite dans la question (d), à quelle contrainte va-t-elle maintenant se rompre lors du même essai de traction ?
(5 points ; il faudra justifier votre réponse pour avoir le total des points).

27 – La caractérisation du comportement mécanique des polymères est souvent basée sur l’essai de relaxation (relaxation test), décrit par les graphes ci-dessous pour un comportement au-dessus de la température de transition vitreuse (glass transition temperature) T_g :

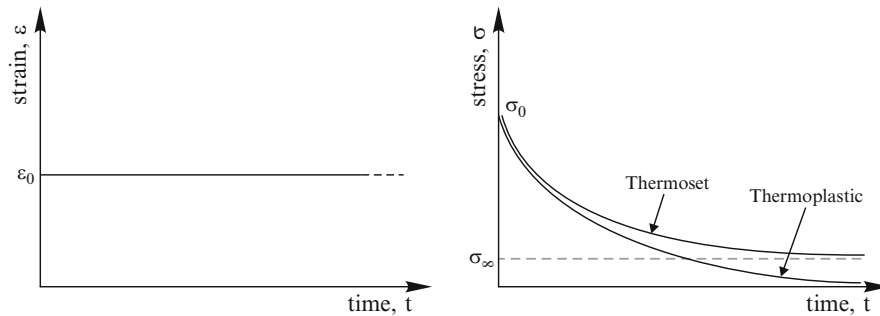


Fig. 3.12 Relaxation test: strain input (*left*) and qualitative stress output (*right*)

(a) – Quelle est la raison physique pour laquelle dans le graphe ci-dessus on voit cette différence entre un polymère thermoplastique (thermoplastic) et un polymère thermodurcissable (thermoset) ?

(4 points ; il faudra justifier votre réponse pour avoir le total des points).

(b) – Pouvez-vous donner la définition du module de relaxation («relaxation modulus») $E(t)$ tel qu'on le déduit de cet essai ?

(2 points ; il suffit d'écrire la formule).

(c&d) - Le graphe ci-dessous décrit les données fournies par l'essai de relaxation pour un polymère époxyde donné (c'est le même graphe qui fut donné en cours et dans vos exercices). Notez que les unités S.I. sont sur l'axe des ordonnées de droite, où des valeurs détaillées ont été superposées sur l'axe logarithmique pour vous en faciliter la lecture. Supposez que le comportement de ce polymère obéisse à la viscoélasticité linéaire. Comme on le voit, les données sur ce graphe pour ce polymère sont conformes à l'approche du TTSP («Time-Temperature Superposition Principle»), que l'on pourra donc utiliser pour répondre aux deux questions ci-dessous.

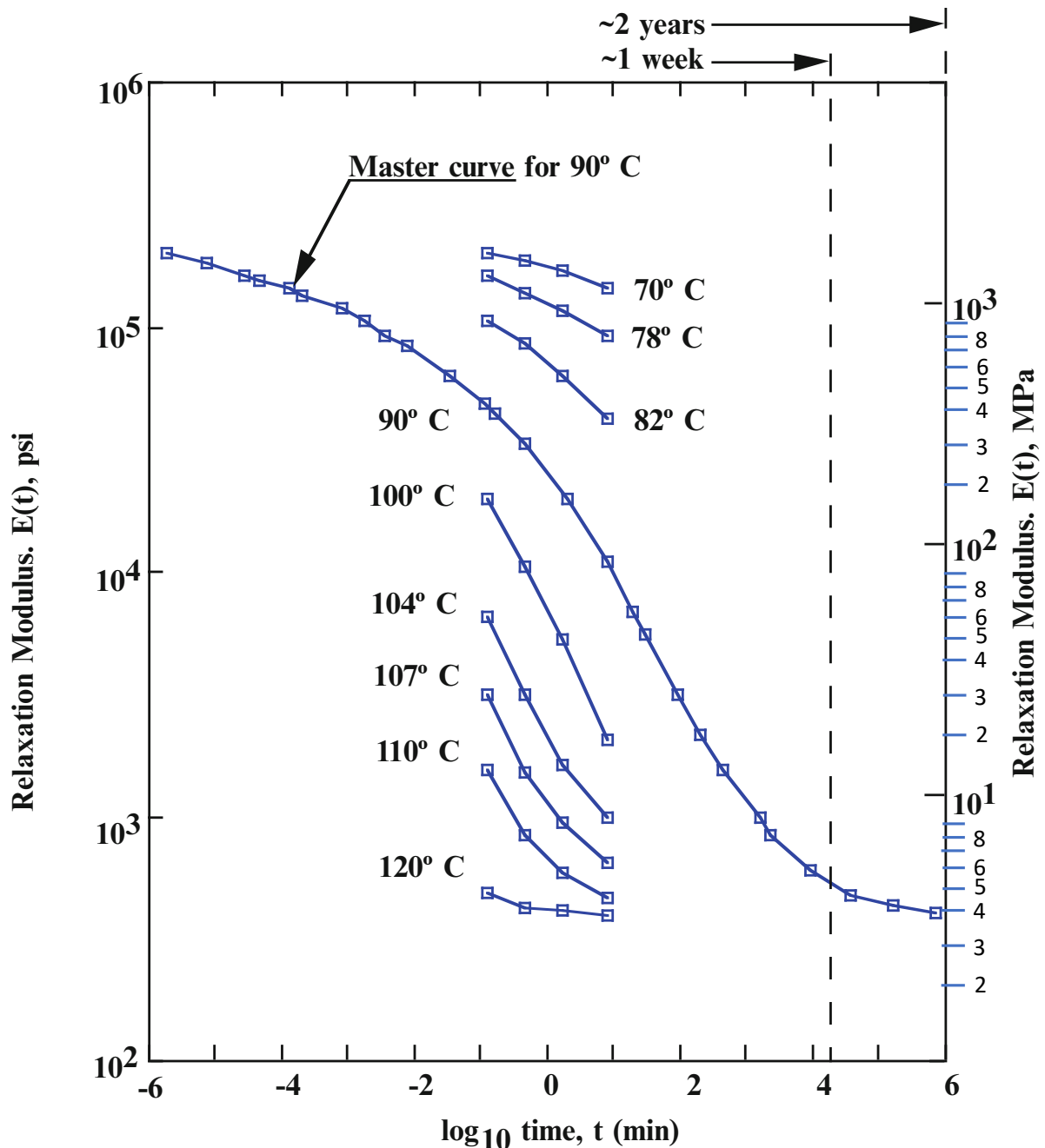
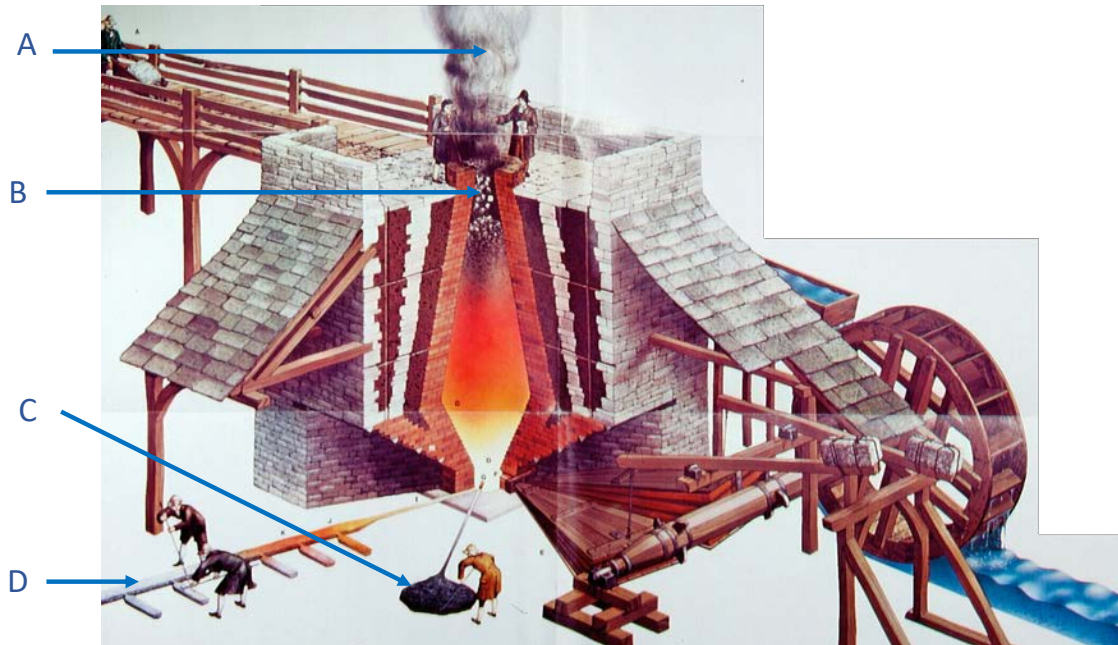


Fig. 7.4 Master curve for a modified epoxy (Data from Cartner 1978)

28 – La figure ci-dessous illustre un haut-fourneau aux Etats-Unis d’Amérique au XVIIIe siècle. Ecrivez ci-dessous de quoi sont constitués les matières ou matériaux indiqués par chacune des 4 flèches A, B, C et D. Cherchez pour chacune de ces lettres à être précis et à inclure toutes les espèces chimiques qu’elles englobent. (4 points).



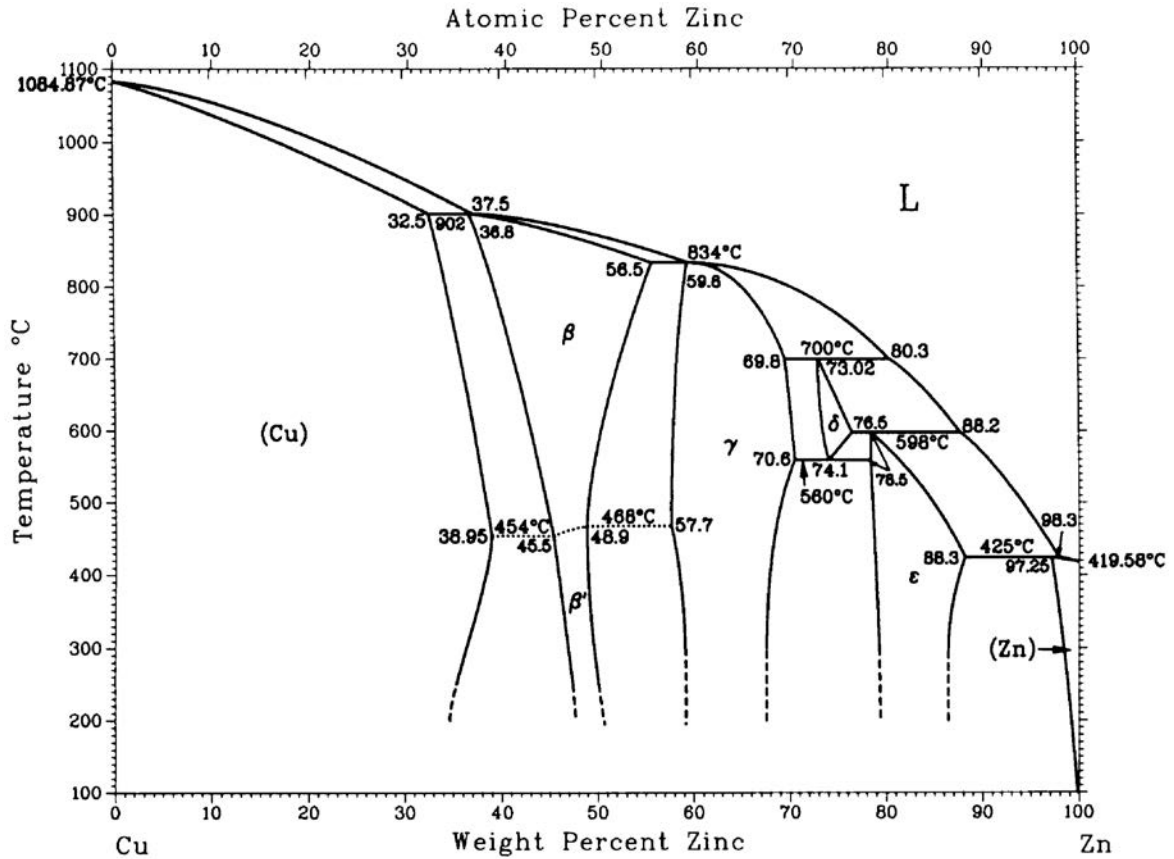
A = _____

B = _____

C = _____

D = _____

29 - Ci-dessous vous trouverez le diagramme binaire Cu-Zn. Pour rappel, le fait que les lignes verticales du diagramme sont en pointillé en dessous d'une certaine température dans le diagramme indique que dans ces gammes de température inférieures la composition des phases en présence cesse d'évoluer car la diffusion devient trop lente. En d'autres mots, quand la ligne verticale devient pointillée la microstructure cesse d'évoluer lors du refroidissement de l'alliage.



Pouvez-vous répondre aux questions suivantes:

(a) – Quelle est la teneur en zinc maximale des laitons monophasés ?
(2 points)

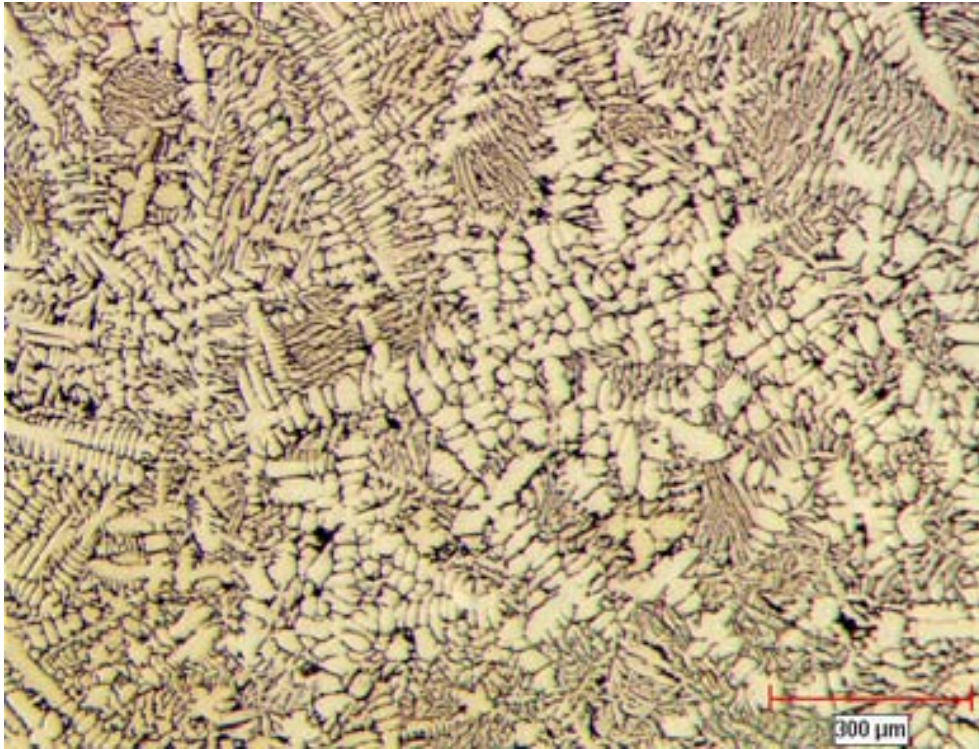
(b) – quelle est la teneur en zinc habituelle du laiton biphasé ?
(2 points)

(c) - quelle est la différence entre les phases β et β' ?
(2 points)

(d) – Pourquoi le laiton biphasé est-il habituellement mis en forme à température élevée (“à chaud”) ?
(3 points)

(e) – La pièce en laiton ci-dessous a été mise en forme par emboutissage puis a servi dans un environnement comportant de l’ammoniaque en solution aqueuse. Par quel mécanisme s’est-elle fissurée et quelle solution pouvez-vous proposer pour que cet alliage puisse être utilisé dans cet environnement sans se fissurer ?
(5 points)



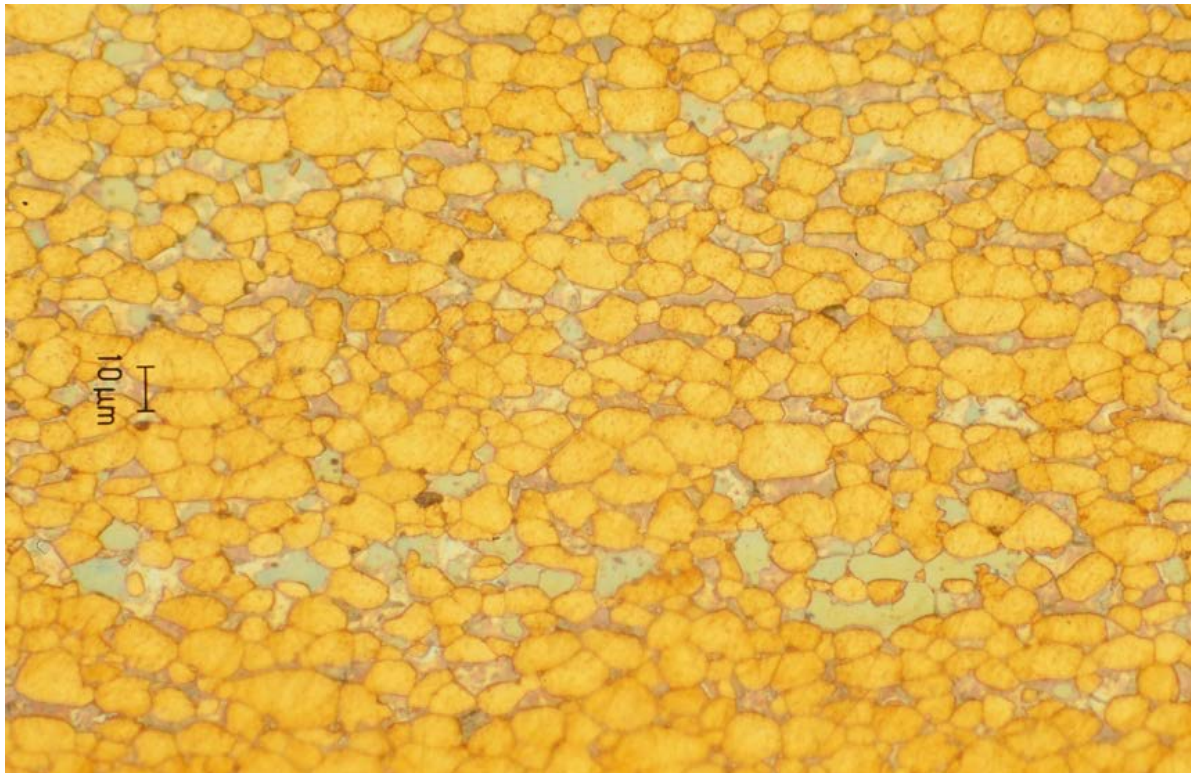


(f) – Ci-dessus vous trouverez une microstructure de l’alliage Cu-36% Zn brut de coulée. La structure a été polie puis soumise à une attaque chimique qui rend la couleur du métal d’autant plus foncée que sa teneur en zinc est élevée.
On voit des variations dans la couleur de ce métal et donc de la teneur en zinc, au sein de cette microstructure. A quoi est-ce dû et comment appelle-t-on ce phénomène ?
(4 points)

(g) – Est-il possible que l’on trouve la phase β' au sein de cette microstructure et pourquoi ?
(2 points)

(h) - Quel traitement préconiserez-vous pour réduire ou supprimer les gradients de concentration en zinc au sein de cette structure de l'alliage Cu-36%Zn ? (donnez les valeurs de paramètres là où vous le pouvez) ?
(2 points)

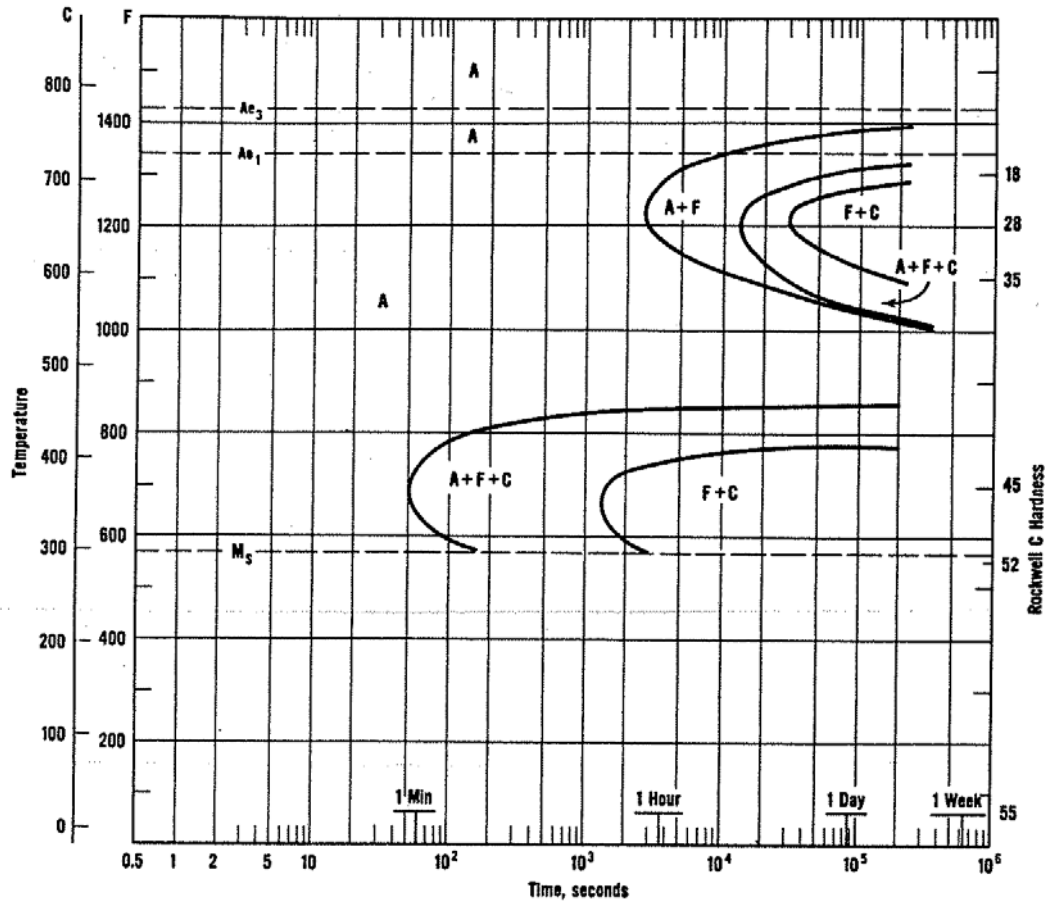
(i)– ci-dessous vous trouverez la microstructure d'un laiton biphasé. Pouvez-vous indiquer les phases en présence dans cette microstructure (marquez-les directement sur la micrographie) ?
(3 points)



30 – Ci-dessous vous trouverez le diagramme TTT d'un acier dont la composition est donnée dans l'en-tête du diagramme. Supposez que M_f soit supérieure à l'ambiante.

4330 Mod. (Si + V) Steel

Composition: 0.34% C - 0.98% Mn - 1.37% Si - 0.015% P - 0.005% S - 1.82% Ni - 0.95% Cr - 0.42% Mo - 0.14% V Grain size: 4 Austenitized at 900°C (1650°F)



(a) – Quelle est la température de la transformation eutectoïde pour cet alliage ? (2 points ; il faudra justifier votre réponse pour avoir le total des points).

(b) – Comment feriez-vous pour produire, au sein de cet alliage, une structure entièrement martensitique ? (2 points).

(c) – Comment feriez-vous pour produire, au sein de cet alliage, une structure constituée à 100% de bainite inférieure (bainite fine formée vers le bas du domaine de formation de la bainite) ?
(3 points).

(d) – Est-il possible de déformer cet alliage à l'état 100% austénique en dessous des températures où celle-ci est stable ? Quel pourrait être l'intérêt pratique d'une telle opération ?
(4 points).

(e) – Comment feriez-vous pour produire, au sein de cet alliage, une structure combinant en proportions relativement égales de la ferrite et de la martensite ?
(3 points).
