

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2018

Toute documentation permise Calculatrices : modèles autorisés seulement Durée de l'examen : 3 heures
--

14-MT-A6 Matériaux d'ingénierie

Question 1 (16 points)

L'alliage S-590 (Fe-Cr-Ni-Co) possède une très bonne résistance au fluage à haute température. Le comportement de cet alliage en fluage secondaire est illustré sur le graphique de la Figure 1.

- Une éprouvette cylindrique d'alliage S-590 ayant une longueur initiale L_0 de 450 mm est soumise à une contrainte de tension constante de 200 MPa à une température de 730°C. Quel sera l'allongement ΔL total de l'éprouvette après une exposition de 300 heures ? On supposera que l'allongement de l'éprouvette après le stade primaire est de 2,5 mm. (7 points)
- Si l'éprouvette est soumise à la même contrainte de tension mais à une température de 815°C, après combien de temps (heures) atteindra-t-on la même déformation dans le stade secondaire que celle trouvée en a) ? (3 points)
- Le comportement des matériaux en fluage peut être décrit par une loi montrant la relation entre la vitesse de déformation $\dot{\epsilon}$ dans le stade secondaire, la contrainte σ et la température T :

$$\dot{\epsilon} = A\sigma^n \exp(-Q/RT)$$

où A est une constante, Q est l'énergie d'activation pour le mécanisme de fluage et R est la constante des gaz parfaits ($R=8,314$ J/mole·K). Dérivez une expression analytique pour évaluer l'exposant n de la contrainte. À quoi cela correspond-il sur le graphique de la Figure 1 ? (6 points)

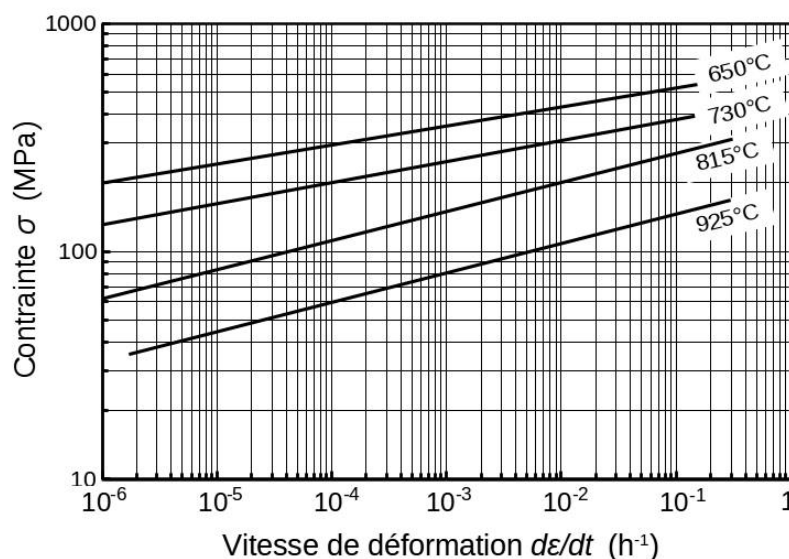


FIGURE 1 : Courbes de fluage dans le stade secondaire pour l'alliage S-590.

Question 2 (16 points)

La Figure 2 donne la portion du diagramme d'équilibre Fe-C pour les transformations à l'équilibre à l'état solide. Le diagramme TTT montré à la Figure 3 décrit les transformations d'un acier 1055 en maintien isotherme après trempe depuis le domaine austénitique.

- a) Quelles sont les phases présentes dans les zones identifiées par les chiffres 1 à 7 sur la Figure 3 ? (7 points)
- b) Quelles sont les microstructures obtenues pour les traitements thermiques suivants effectués sur les échantillons minces d'acier 1055 ? Indiquez aussi la dureté obtenue à la fin du traitement thermique. (9 points)
- Traitement A
 - Austénitisation à 850°C pendant 30 minutes ;
 - Trempe à la température ambiante.
 - Traitement B
 - Austénitisation à 850°C pendant 30 minutes ;
 - Trempe à 675°C et maintien pendant 30 secondes ;
 - Refroidissement lent jusqu'à la température ambiante.
 - Traitement C
 - Austénitisation à 850°C pendant 30 minutes ;
 - Trempe à 340°C et maintien pendant 300 secondes ;
 - Refroidissement lent jusqu'à la température ambiante.
 - Traitement D
 - Austénitisation à 850°C pendant 30 minutes ;
 - Trempe à 340°C et maintien pendant 50 secondes ;
 - Trempe à la température ambiante.

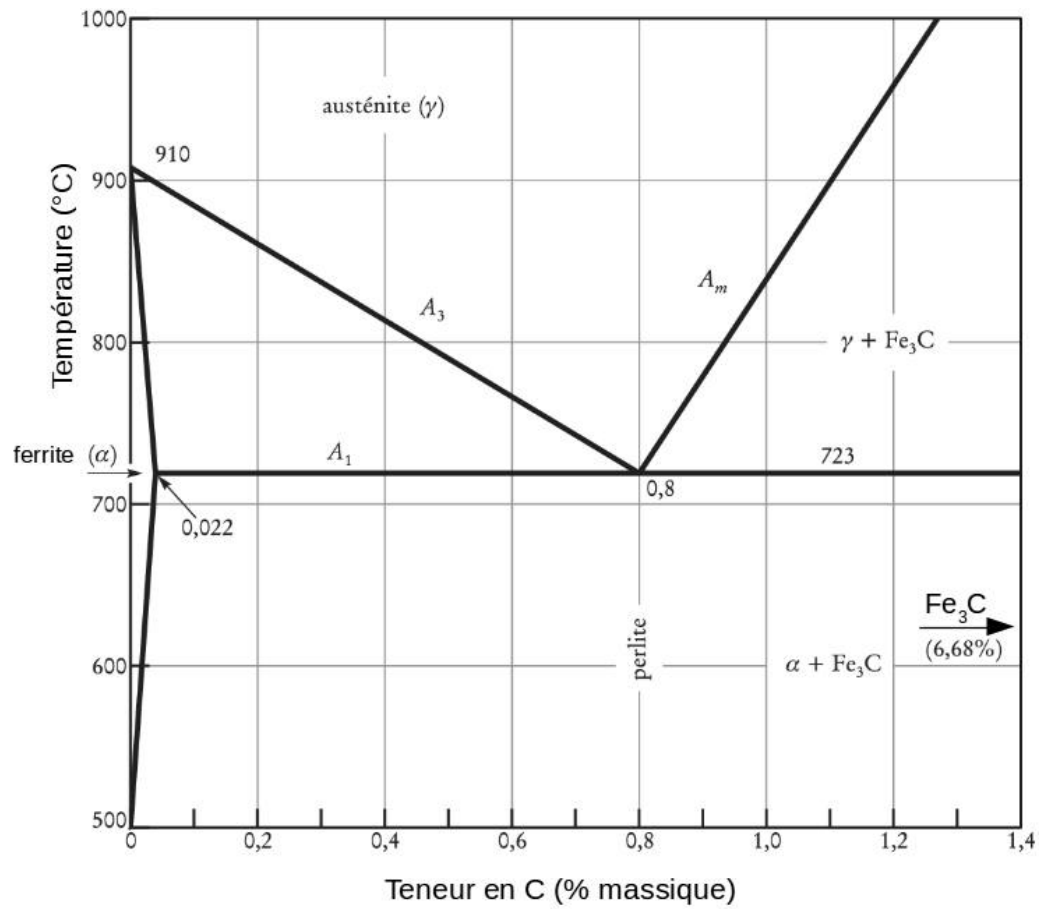


FIGURE 2 : Diagramme d'équilibre Fe-C (transformations à l'état solide).

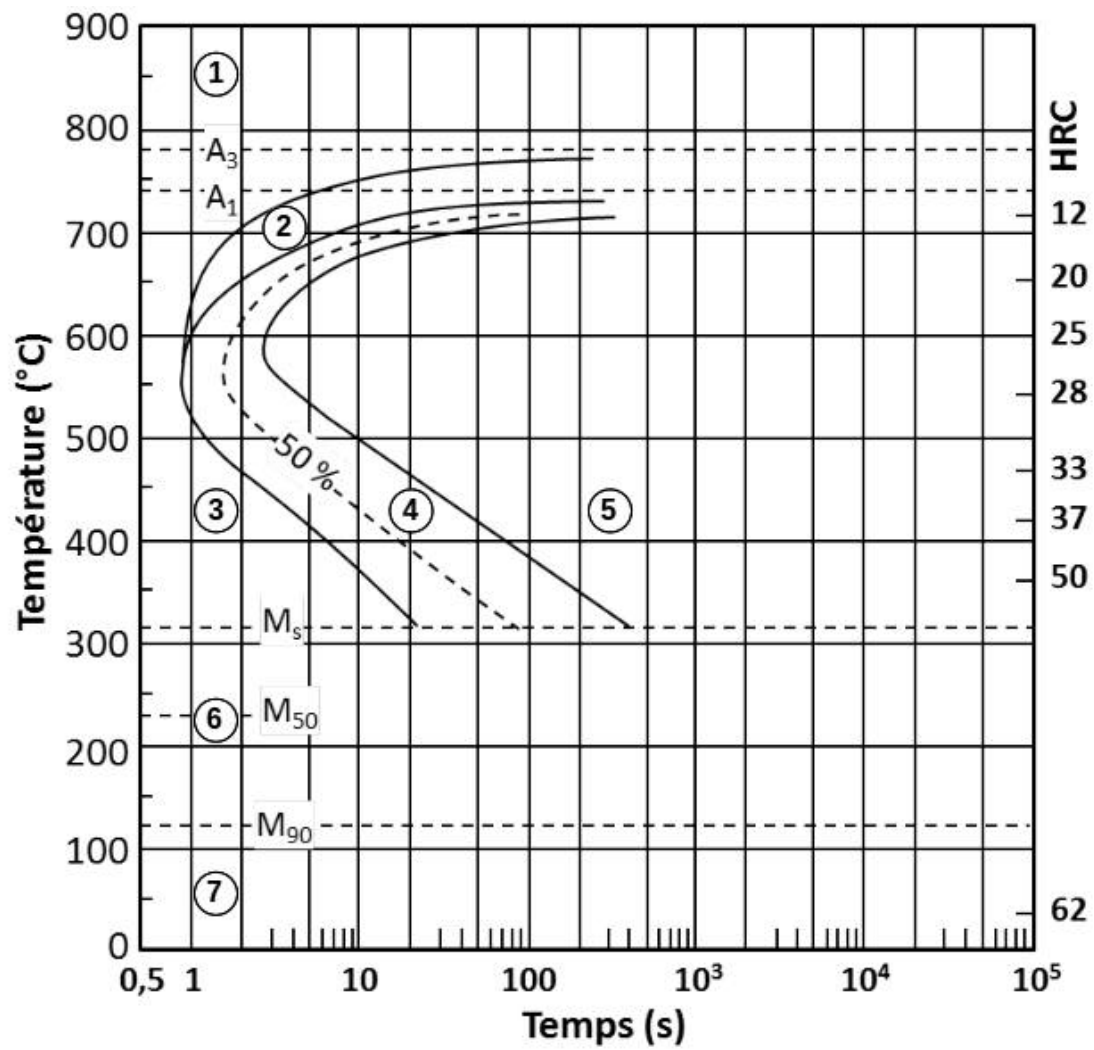


FIGURE 3 : Diagramme TTT de l'acier 1055.

Question 3 (12 points)

On veut produire un fil d'acier 1040 par étirage à froid. Alors que le diamètre initial du fil est de 7 mm, on vise un diamètre final de 5,4 mm. Les propriétés mécaniques de cet acier en fonction du taux d'écroutissage (réduction de section/section initiale) sont données dans le graphique de la Figure 4. On désire obtenir un produit final avec une limite d'élasticité supérieure à 650 MPa et une ductilité supérieure à 15%.

- Montrez qu'il n'est pas possible d'obtenir ce résultat en une seule passe d'étirage à froid. (4 points)
- Si on envisage d'obtenir le produit final après deux passes d'étirage à froid, après avoir complété un recuit de recristallisation suite à la première passe, quel devrait être le diamètre intermédiaire D_i du fil après la première passe d'étirage ? Justifiez. (8 points)

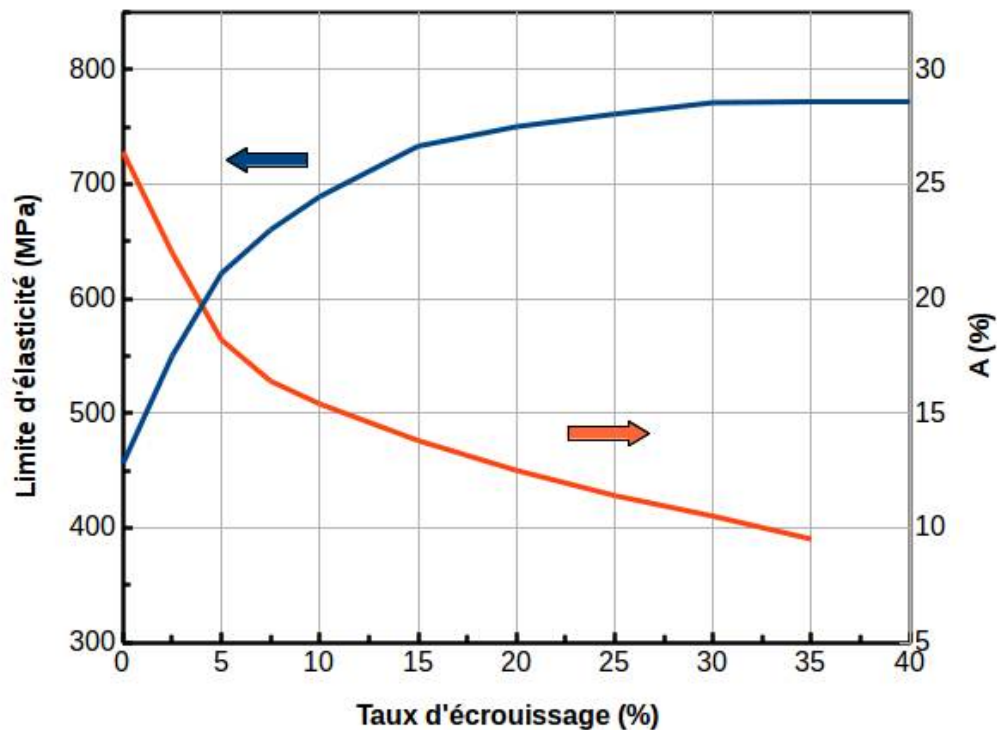


FIGURE 4 : Écroutissage de l'acier 1040.

Question 4 (12 points)

Un composite à matrice de polycarbonate est renforcé de fibres continues d'aramide. La fraction volumique de fibres V_f est égale à 30% et les propriétés des composants sont données dans le Tableau 1. On note aussi que lorsque les fibres d'aramide se rompent dans le composite, la contrainte mécanique subie par la matrice est de 45 MPa.

TABLEAU 1 : Propriétés mécaniques des composants

	Polycarbonate	Fibre d'aramide
Module d'Young E (GPa)	24	131
Résistance à la rupture R_m (MPa)	65	3600

- a) Calculez le module d'Young E_c du composite. (6 points)
- b) Calculez la résistance à la traction R_{mc} du composite. (6 points)

Question 5 (14 points)

La loi de *Hall-Petch* donne la relation entre la limite d'élasticité σ_y et la taille moyenne de grains d dans un alliage polycristallin :

$$\sigma_y = \sigma_0 + kd^{-1/2}$$

Cette loi est illustrée graphiquement pour un alliage de laiton 70% Cu–30% Zn à la Figure 5.

- À partir des valeurs qu'il est possible de lire sur le graphique, déterminez la valeur des constantes σ_0 et k de la loi de Hall-Petch. (8 points)
- Pour un alliage de laiton 70% Cu–30% Zn ayant une taille moyenne de grains de $1 \mu\text{m}$, évaluez quelle sera sa limite d'élasticité σ_y . (6 points)

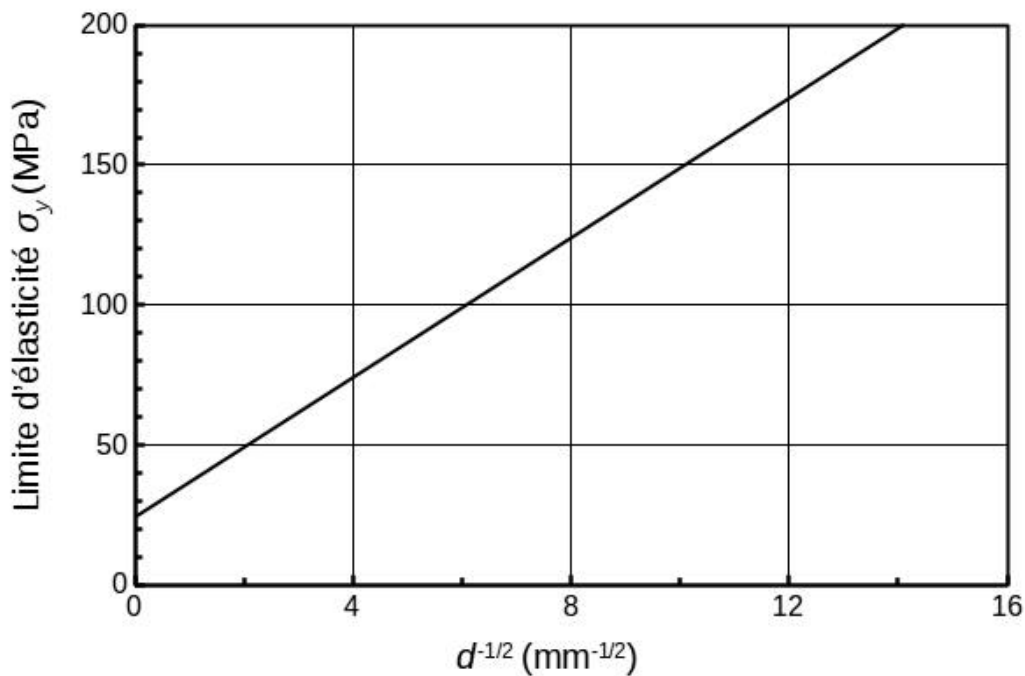


FIGURE 5 : Loi de Hall-Petch pour le laiton 70% Cu–30% Zn : influence de la taille de grains d sur la limite d'élasticité σ_y .

Question 6 (16 points)

La coulée d'un lingot d'acier de section carrée conduit à la microstructure montrée à la Figure 6. En contact avec la paroi du moule, on forme la zone de peau caractérisée par de petits grains. Ensuite, on observe des grains colonnaires puis, au centre du lingot, on observe des grains dendritiques équiaxes.

- Pourquoi la microstructure la plus fine se trouve-t-elle à la surface de la pièce, en contact avec le moule ? (4 points)
- Qu'est-ce qui provoque l'alignement des grains colonnaires dans la zone 2 tel qu'indiqué sur la Figure 6-b ? (4 points)
- Comment en pratique peut-on obtenir à travers tout le lingot des grains équiaxes ? (4 points)
- Pour ce lingot d'acier, on observe une concentration en carbone à la surface de 0,36% alors qu'au cœur du lingot, la concentration en carbone est de 0,61%. Comment peut-on expliquer ce phénomène de ségrégation du carbone ? (4 points)

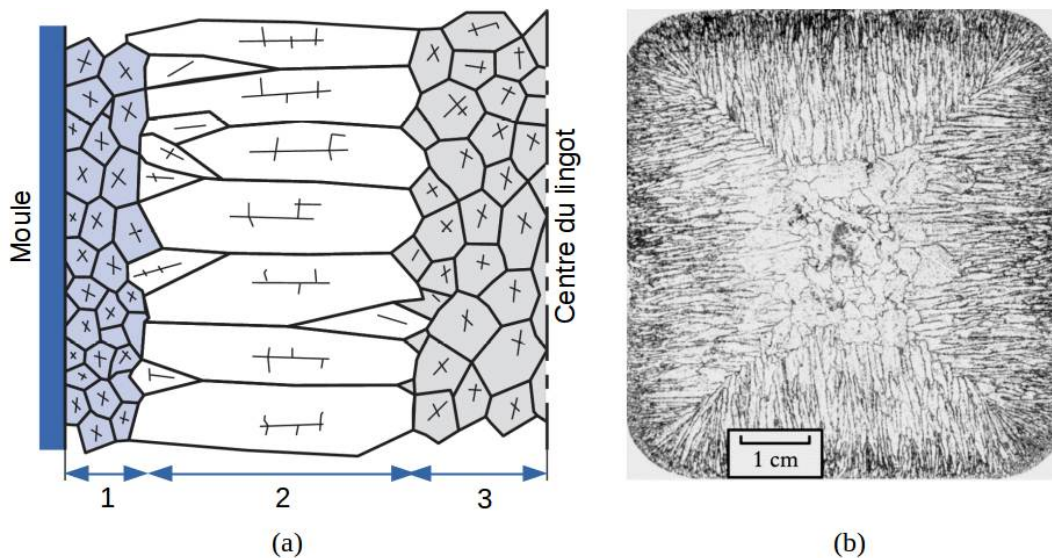


FIGURE 6 : Microstructure a) schématisée et b) réelle dans un lingot d'acier. 1- Zone de peau ; 2- Grains colonnaires ; 3- Grains dendritiques équiaxes.

Question 7 (14 points)

Les matériaux plastiques sont constitués de chaînes polymères d'atomes de carbone auxquelles sont liés divers atomes ou groupes latéraux. Le graphique de la Figure 7 montre l'évolution du logarithme du module d'Young E de trois polymères différents en fonction de la température T .

- a) Lequel de ces polymères possède un degré de cristallinité plus élevé? Expliquez de quelle façon on peut obtenir la cristallisation d'un polymère. (5 points)
- b) Lequel de ces polymères possède une température de transition vitreuse la plus élevée? Expliquez à quel endroit sur le graphique il est possible de déterminer cette température de transition. (5 points)
- c) Lequel de ces polymères n'est pas recyclable? Expliquez pourquoi. (4 points)

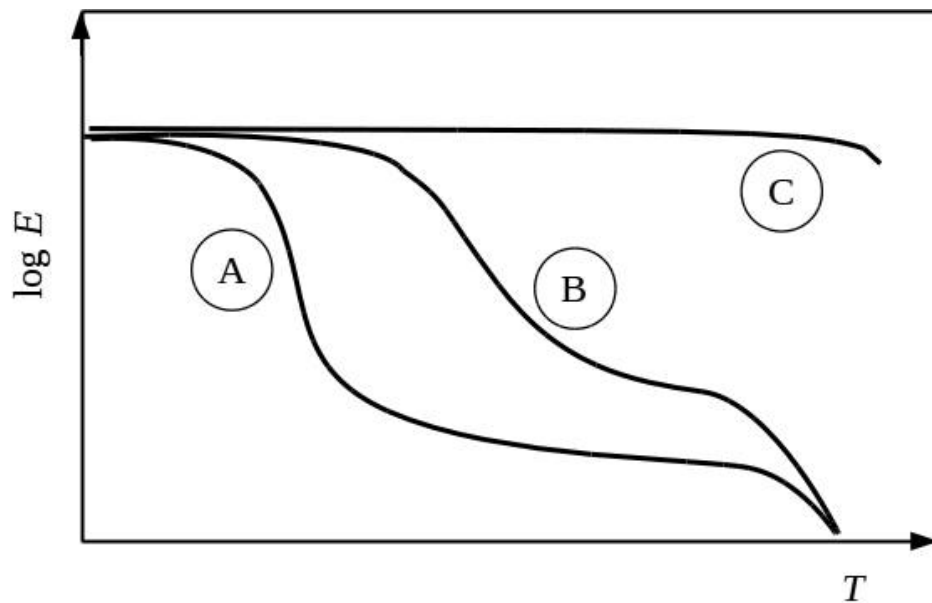


FIGURE 7 : Évolution du module d'Young E en fonction de la température T .