

Examen Bachelor « Transformation de phases »

19 juin 2019

Enseignant : Dr Cyril Cayron

Assistante : Céline Guidoux

Durée : 3 heures 12h15 – 15h15

Salle : CE1 103

Matériel autorisé : une calculatrice et toutes les notes manuscrites sans restriction du nombre de pages

Consignes : Répondre sur feuilles libres en marquant votre nom et n° Sciper en haut de toutes les pages et en les numérotant. Indiquer le nombre de pages totales à la fin. Les réponses peuvent être données en français ou en anglais.

Quelques rappels qui pourront (ou non) être utiles :

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}, \quad 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2, \quad 1 \text{ J} = 1 \text{ N.m}, \quad 0\text{K} = -273^\circ\text{C}$$

$$\text{Constante de Boltzmann } k_B = 1,380648 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{Constante des gaz parfaits } R = 8,314462 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{Nombre d'Avogadro } N_A = 6,022140 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Questions de cours (2 points)

1/ Expliquer/décrire qualitativement en quelques phrases et d'un point de vue purement thermodynamique pourquoi/comment les corps purs changent de phase en fonction de la température.

2/ Quelle est l'équation qui décrit la composition d'un solide formé par avancée d'un front plan solide-liquide dans le cas d'une diffusion infinie dans le liquide et d'une absence complète de diffusion dans le solide ? Démontrer cette équation et discuter de sa validité.

3/ Expliquer en quelques phases et schémas le principe de la surfusion constitutionnelle.

4/ Quelle est la différence entre les matrices de distorsion, d'orientation et de correspondance ? Quelle est l'équation qui les lie ? Ces trois matrices ont elles un sens : a) pour une transformation martensitique et b) pour la précipitation ?

Exercice 1 (1.5 point)

Dans l'expérience de Tyndall, un fil est lesté d'un poids et posé sur un morceau de glace. Le fil parvient à traverser le bloc de glace sans le rompre, comme illustré sur en Fig.1. L'objectif de l'exercice consiste à expliquer et quantifier ce phénomène.

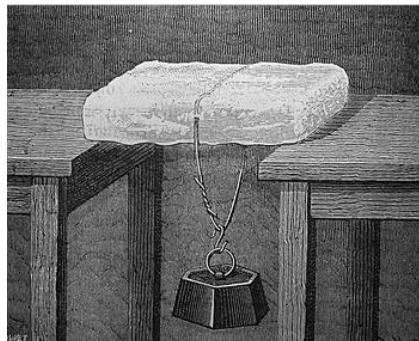


Fig.1.

- a) Considérer le diagramme de phase température-pression de l'eau en Fig.2. Quelle est la valeur approximative de la pente de la droite séparant les domaines glace et liquide? Expliquer son signe.

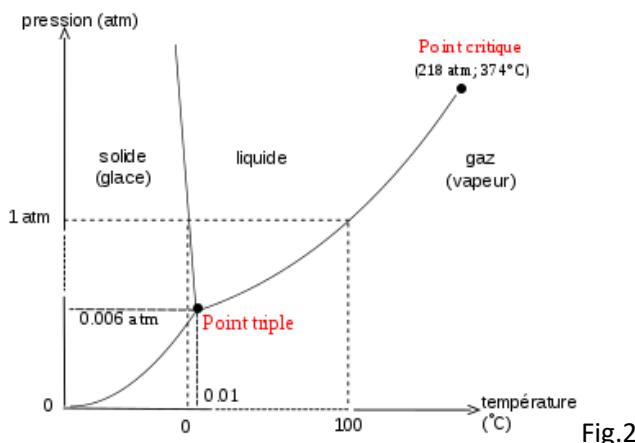


Fig.2

- b) Calculer la valeur précise de cette pente en MPa/K et en atm/K (pour retrouver la valeur approximative mesurée en a).

Données :

Enthalpie massique de fusion de l'eau $L = \Delta H = 333,5 \text{ J/g}$

Volume massique de l'eau liquide à 0°C $v^l = 1,0020 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$

Volume massique de l'eau solide (glace) à 0°C $v^s = 1,0905 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$

- c) Expliquer qualitativement l'effet de Tyndall.
d) Questions bonus : En supposant que l'effet apparaît pour une différence de température d'au moins 1°C, que le pain de glace a une largeur de 10 cm et que le fil a un diamètre de 1 mm, quelle charge minimum doit être posée? Quelle est la contrainte de traction sur le fil? Quel matériau choisiriez-vous? Quel diamètre faudrait-il pour un fil en cuivre dont la limite à rupture est de 200 MPa?

Exercice 2 (1 point)

Le diagramme de phase or (Au)-nickel (Ni) est représenté en Fig.3. Pour la suite, la solution AuNi sera approximée par une solution idéale pour le liquide et régulière pour le solide.

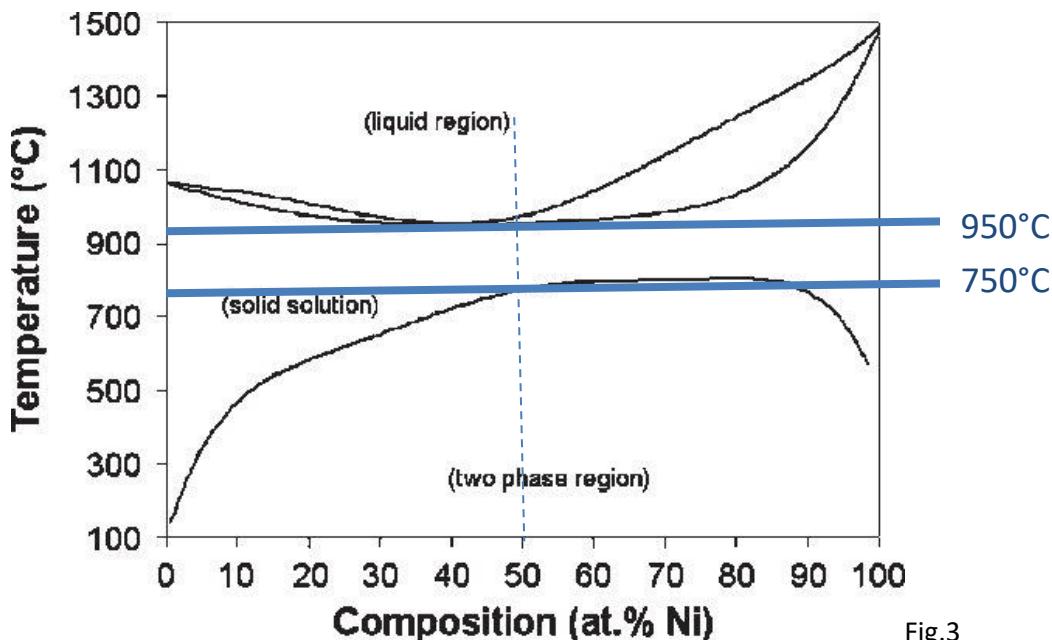


Fig.3

- Le point de fusion minimum est approximativement de 950°C à la composition $x_{\text{Au}} = x_{\text{Ni}} = 0.5$. Les températures de fusion du Au et Ni sont respectivement de 1063°C et 1450°C. Les chaleurs latentes de fusion de Au et Ni sont respectivement de $12 \cdot 10^6 \text{ J/kmol}$ et $17 \cdot 10^6 \text{ J/kmol}$. En supposant pour simplifier que les capacités calorifiques molaires de l’Au et du Ni sont les mêmes que ce soit pour la phase solide ou liquide, calculer l’enthalpie molaire de mélange du système 0.5 Au-0.5 Ni.
- Sachant que la température critique de démixtion est approximée à 750°C pour une composition $x_{\text{Au}} = x_{\text{Ni}} = 0.5$, calculer le paramètre d’interaction atomique Ω et en déduire à nouveau l’enthalpie molaire de mélange.
- Questions bonus : Auriez-vous une explication qualitative basée sur les liaisons interatomiques Au-Au, Ni-Ni et Au-Ni à la bosse de température critique de démixtion, et au creux de la température de fusion à 950°C? Pourquoi les approximations sur les types de solutions pour le liquide et le solide sont-elles en fait très grossières ?

Exercice 3 (1.5 point)

Considérer la Fig.4. Le réseau rectangulaire γ en bleu, de vecteurs de base a^γ et b^γ est maclé mécaniquement selon le sens de la flèche pointillée (en vert) de telle manière que la diagonale reste invariante. Le nouveau réseau rectangulaire de même proportion ainsi formé est représenté en rouge.

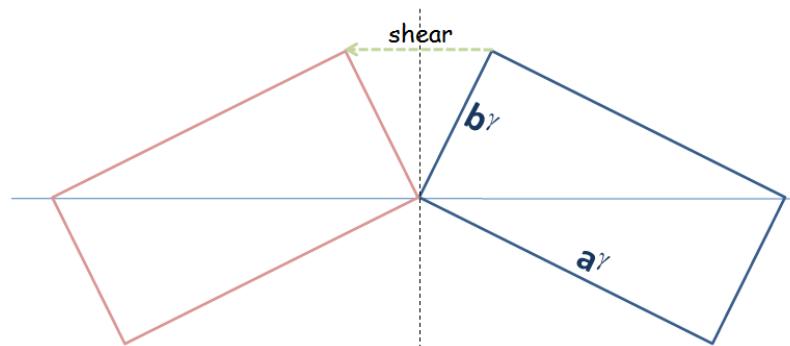


Fig.4

En fonction du rapport $r = b^\gamma/a^\gamma$,

- Calculer par géométrie simple l'amplitude s du cisaillement.
- Calculer cette même amplitude s en utilisant la formule de Bevis & Crocker. *Indication : il est conseillé de prolonger par pavage le nouveau réseau rouge pour trouver géométriquement la matrice de correspondance du maclage.*
- Calculer la matrice (2x2) de cisaillement S . Quels calculs simples peuvent être faits pour vérifier la valeur calculée de cette matrice ?
- Questions bonus : Exprimer la direction $u^\gamma = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}$ après cisaillement dans le repère final (phase en rouge). Même question pour le plan $g^\gamma = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$.