

**SESSION DE NOVEMBRE 2016**

Toute documentation permise

Calculatrice non-programmable: modèles autorisés seulement

Durée: 3 heures

**14-MT-A1**

**Thermodynamique métallurgique**

### Question 1 (3 points)

Durant un premier processus, 1200 moles d'aluminium (Al) liquide pure à 900°C sont refroidies à 720°C par l'addition de lingots solides d'Al (pur) initialement à 25°C. Calculez le nombre de moles d'Al en lingots à ajouter au liquide sachant que les pertes de chaleur durant le processus complet sont de 2.25 MJ.

Durant un second processus, toutes les moles d'aluminium liquide résultant du premier processus reçoivent 800 kJ de chaleur. Calculez la température finale de l'aluminium liquide.

Données:  $C_p(\text{Al liquide}): 31.7 \text{ J/mol-K}$   $C_p(\text{Al solide}): 20.8 + 0.0121 T(\text{K}) \text{ J/mol-K}$

$T^o(\text{fusion, Al}): 660 \text{ }^\circ\text{C}$

$\Delta h^o_{\text{fusion}}(\text{Al}): 10,711.0 \text{ J/mol}$

### Question 2 (3 points)

Pour l'évaporation du zinc pur (Zn):

$$\text{Zn}_{(\text{liquide})} = \text{Zn}_{(\text{gaz})} \quad \Delta G^o = 115,295.0 - 97.586 T(\text{K}) \text{ J/mol}$$

- Calculez la température à laquelle le Zn liquide pur va bouillir sous une pression totale ( $P_{\text{tot}} = P_{\text{Zn}}$ ) de 0.85 bar;
- Calculez le point d'ébullition ( $P_{\text{tot}} = P_{\text{Zn}} = 1.0 \text{ bar}$ ) d'un alliage (Zn+Al) binaire liquide dont la fraction molaire d'Al ( $x_{\text{Al}}$ ) vaut 0.98. Vous pouvez supposer que Al ne volatilise pas et que le coefficient d'activité du Zn ( $\gamma_{\text{Zn}}$ ) est donné par:  $RT \ln \gamma_{\text{Zn}} = 6000x_{\text{Al}}^2$

Données:  $R (\text{constant des gaz}) = 8.31451 \text{ J/mol-K}$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3$$

### Question 3 (4 points)

À 500°C, le cuivre (Cu) est soluble dans l'aluminium solide (Al, structure cfc) jusqu'à quelques pourcents. Au-delà de la limite de solubilité, le Cu réagit avec Al pour former  $\text{Al}_2\text{Cu}$  solide, selon la réaction suivante:



En supposant que  $\text{Al}_{(\text{cfc})}$  est un solvant de type Raoultien et que Cu est un soluté de type Henrien dans la solution cfc (coefficient d'activité  $\gamma_{\text{Cu}}$  dans cfc égale à 0.085 à 500°C), calculez la limite de solubilité du Cu dans  $\text{Al}_{(\text{cfc})}$  (en fraction molaire  $x_{\text{Cu}}$ ).

Question 4 (3 points)

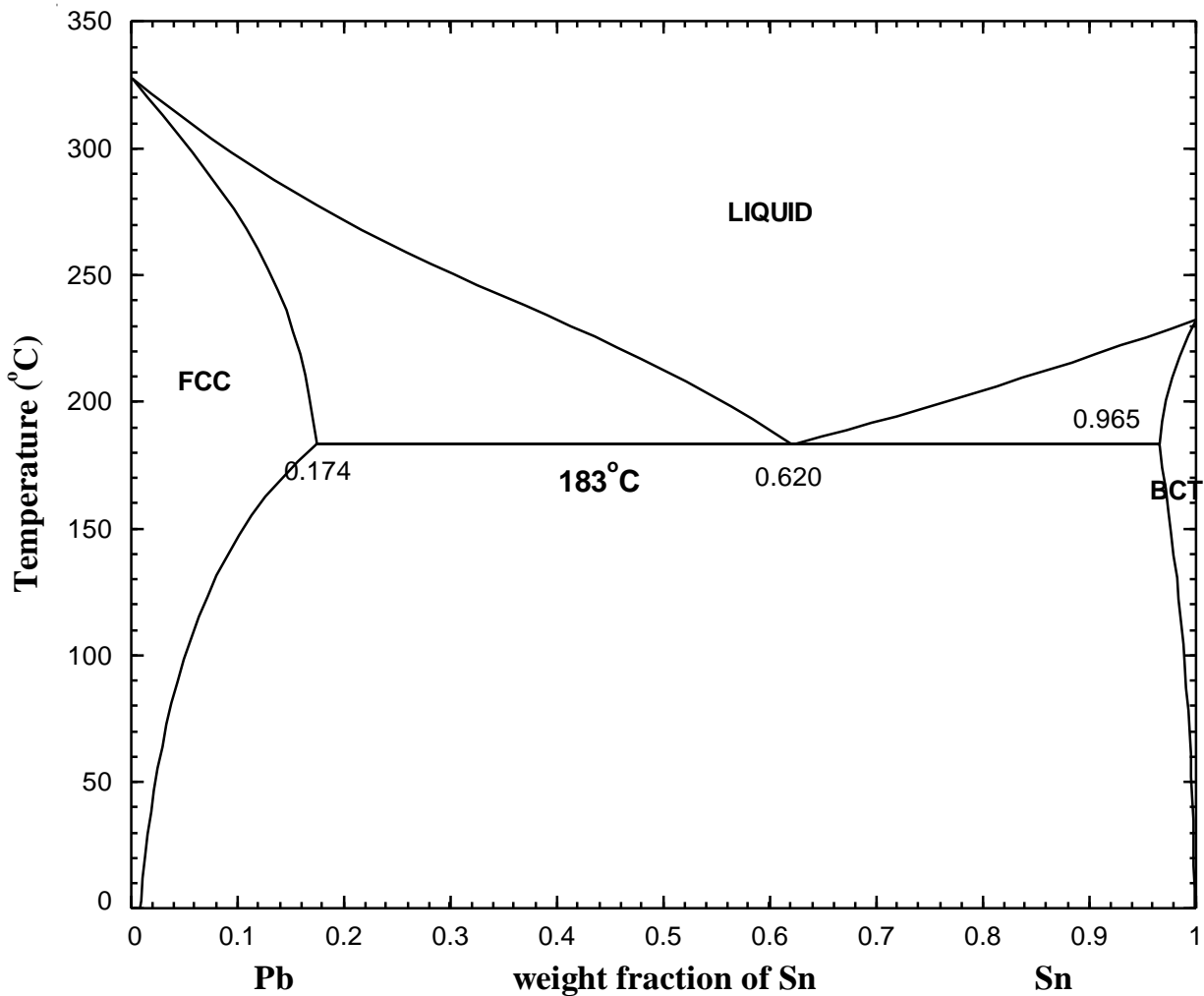


Figure 1: Le diagramme de phase Pb – Sn (en fraction massique)

Le diagramme de phase Pb-Sn (en fraction massique) est montré à la figure 1. En plus de la solution liquide, deux solutions solides terminales forment les phases d'équilibre: FCC-Pb and BCT-Sn.

Pour 120 grammes d'un alliage 80 % Sn – 20 % Pb (poids) à l'équilibre:

- Calculez la masse et la composition (fraction massique de Sn) des phases présentes à l'équilibre à 183.1°C (i.e. juste au-dessus de la température eutectique);
- Calculez la masse et la composition (fraction massique de Sn) des phases présentes à l'équilibre à 182.9°C (i.e. juste en-dessous de la température eutectique), et donnez de plus les masses des phases  $BCT_{\text{pro-eutectique}}$ ,  $FCC_{\text{eutectique}}$  et  $BCT_{\text{eutectique}}$ .

**Question 5 (4 points)**

Un contenant rigide, fermé et vide possède un volume total de  $1.00 \text{ m}^3$ . Ce contenant est ensuite rempli avec 1 mole de  $\text{BaCO}_{3(s)}$  pur, 0.01 mole de  $\text{CO}_{2(g)}$  et 0.10 mole d' $\text{Ar}_{(g)}$ . Le contenant est ensuite chauffé à  $1100^\circ\text{C}$  et l'équilibre est atteint pour la réaction suivante:



$$\Delta G^\circ(1100^\circ\text{C}) = 53.35 \text{ kJ/mol}$$

Les produits d'équilibre à  $1100^\circ\text{C}$  dans le contenant rigide et fermé sont  $\text{BaCO}_{3(s)}$  pur,  $\text{BaO}_{(s)}$  pur et une phase gazeuse contenant  $\text{Ar}_{(g)}$  et  $\text{CO}_{2(g)}$ .

- Expliquez en quelques mots ou à l'aide d'une équation simple pourquoi il y a formation d'un peu de  $\text{BaO}_{(s)}$  dans le contenant à l'équilibre bien que la valeur de  $\Delta G^\circ$  de la réaction soit positive à  $1100^\circ\text{C}$ .
- Calculez les valeurs des pressions partielles (en bar) de  $\text{Ar}_{(g)}$  ( $P(\text{Ar})$ ) et de  $\text{CO}_{2(g)}$  ( $P(\text{CO}_2)$ ) ainsi que la pression totale ( $P(\text{total})$ ) à l'équilibre à  $1100^\circ\text{C}$  dans le contenant (vous pouvez poser un gaz idéal et supposer que tous les solides occupent un volume négligeable);
- Calculez le nombre de moles de  $\text{BaO}_{(s)}$  généré dans le contenant à l'équilibre à  $1100^\circ\text{C}$ .

Données:  $R$  (constant des gaz) =  $8.31451 \text{ J/mol-K}$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3$$

Question 6 (3 points)

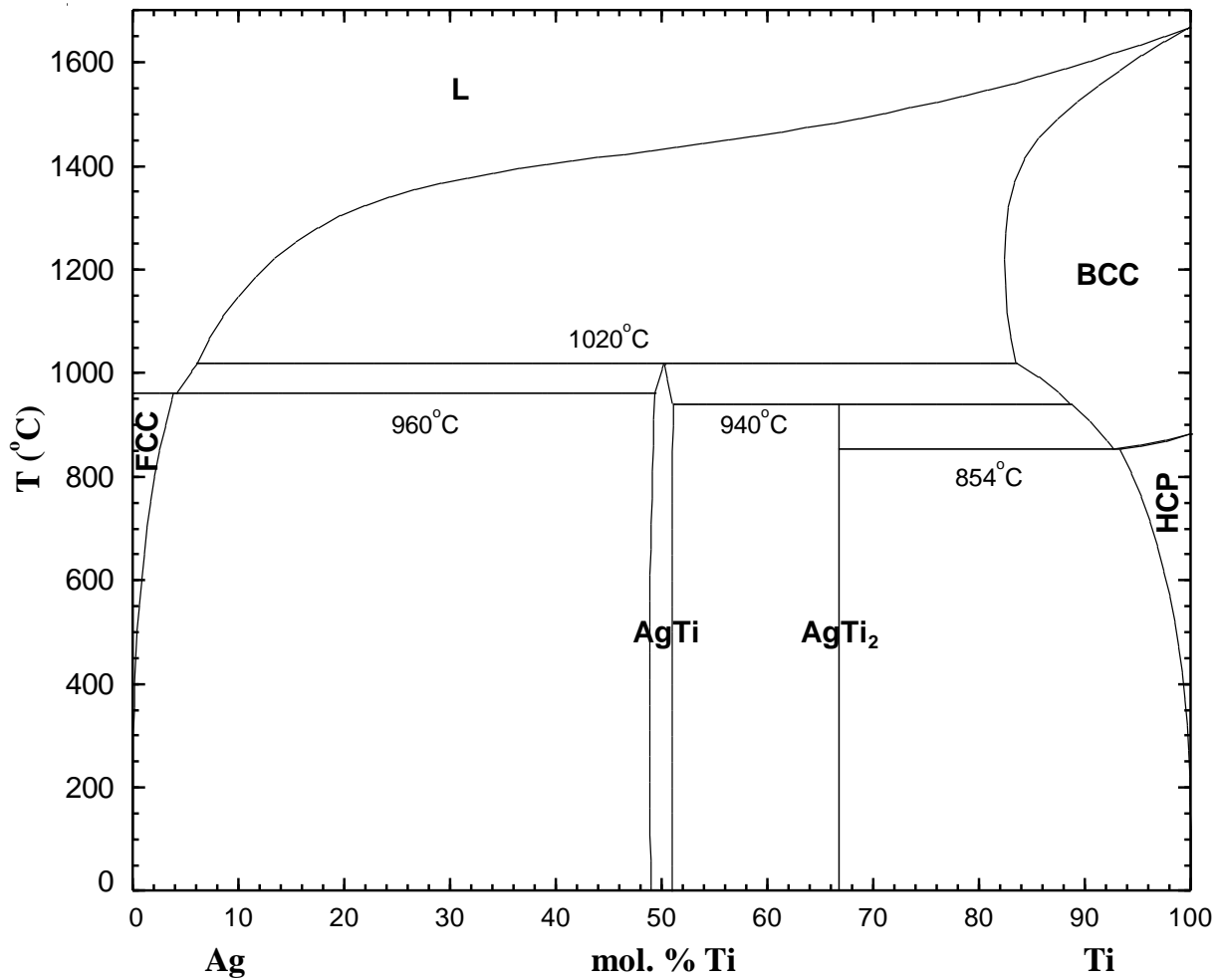


Figure 2: Le diagramme de phase Ag-Ti

Le diagramme de phase argent (Ag) – titane (Ti) est montré à la figure 2.

- À quelle température (en  $^{\circ}\text{C}$ ) a lieu la première apparition d'un liquide lorsque les alliages suivants sont chauffés très très lentement (i.e. près des conditions d'équilibre)?
  - 70 % mol. Ti + 30 % mol. Ag;
  - 14 % mol. Ag;
  - 50 % poids Ag ( $M_{\text{Ag}} = 107.87 \text{ g/mol}$ ;  $M_{\text{Ti}} = 47.87 \text{ g/mol}$ )
- Quel nom donne-t-on à la réaction invariante qui a lieu à 1020 $^{\circ}\text{C}$ , et donnez le(s) réactif(s) et le(s) produit(s) lors du refroidissement?