

Session de mai 2017

Toute documentation permise

Calculatrice non-programmable: modèles autorisés seulement

Durée: 3 heures

14-MT-A1

Thermodynamique métallurgique

Question 1 (4 points)

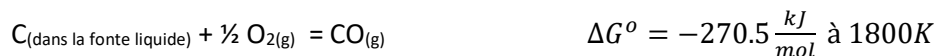
On veut refroidir 3.70 tonnes de cuivre (liquide) de 1700 K jusqu'à 1400 K par l'addition de lingots de cuivre (solide) à 298.15 K. En supposant un processus adiabatique, calculez le poids de cuivre solide à ajouter au cuivre liquide. Utilisez le Tableau 1 et la masse molaire moléculaire du cuivre de 63.546 g/mol.

Tableau 1: Propriétés thermodynamiques standards du cuivre (*copper* en anglais)

63.546 COPPER Cu										
Phase	T [K]	C _p [J / (K mol)]	S [J / (K mol)]	-(G-H298)/T [J / (K mol)]	H [kJ / mol]	H-H298 [kJ / mol]	G [kJ / mol]	ΔH _f [kJ / mol]	ΔG _f [kJ / mol]	log K _f [-]
SOL	298.15	24.443	33.164	33.164	0.000	0.000	-9.888	0.000	0.000	0.000
	300.00	24.464	33.315	33.164	0.045	0.045	-9.949	0.000	0.000	0.000
	400.00	25.318	40.481	34.136	2.538	2.538	-13.654	0.000	0.000	0.000
	500.00	25.912	46.196	35.995	5.100	5.100	-17.998	0.000	0.000	0.000
	600.00	26.477	50.971	38.104	7.720	7.720	-22.862	0.000	0.000	0.000
	700.00	26.995	55.092	40.243	10.394	10.394	-28.170	0.000	0.000	0.000
	800.00	27.494	58.731	42.331	13.120	13.120	-33.865	0.000	0.000	0.000
	900.00	28.032	61.999	44.338	15.895	15.895	-39.904	0.000	0.000	0.000
	1000.00	28.676	64.985	46.255	18.730	18.730	-46.255	0.000	0.000	0.000
	1100.00	29.456	67.753	48.085	21.635	21.635	-52.894	0.000	0.000	0.000
	1200.00	30.519	70.359	49.834	24.630	24.630	-59.800	0.000	0.000	0.000
	1300.00	32.136	72.861	51.509	27.757	27.757	-66.962	0.000	0.000	0.000
	1358.00	33.473	74.291	52.452	29.658	29.658	-71.229	0.000	0.000	0.000
LIQ			9.675		13.138					
	1358.00	32.844	83.966	52.452	42.796	42.796	-71.229	0.000	0.000	0.000
	1400.00	32.844	84.966	53.412	44.175	44.175	-74.777	0.000	0.000	0.000
	1500.00	32.844	87.232	55.592	47.460	47.460	-83.388	0.000	0.000	0.000
	1600.00	32.844	89.352	57.637	50.744	50.744	-92.219	0.000	0.000	0.000
	1700.00	32.844	91.343	59.561	54.029	54.029	-101.254	0.000	0.000	0.000
	1800.00	32.844	93.220	61.380	57.313	57.313	-110.483	0.000	0.000	0.000
	1900.00	32.844	94.996	63.103	60.598	60.598	-119.895	0.000	0.000	0.000
	2000.00	32.844	96.681	64.740	63.882	63.882	-129.480	0.000	0.000	0.000
	2100.00	32.844	98.283	66.299	67.166	67.166	-139.228	0.000	0.000	0.000
	2200.00	32.844	99.811	67.788	70.451	70.451	-149.134	0.000	0.000	0.000
	2300.00	32.844	101.271	69.212	73.735	73.735	-159.188	0.000	0.000	0.000
	2400.00	32.844	102.669	70.577	77.020	77.020	-169.386	0.000	0.000	0.000
	2500.00	32.844	104.010	71.888	80.304	80.304	-179.720	0.000	0.000	0.000
	2600.00	32.844	105.298	73.149	83.589	83.589	-190.186	0.000	0.000	0.000
	2700.00	32.844	106.538	74.362	86.873	86.873	-200.778	0.000	0.000	0.000
	2800.00	32.844	107.732	75.533	90.158	90.158	-211.492	0.000	0.000	0.000
	2843.26	32.844	108.236	76.027	91.578	91.578	-216.164	0.000	0.000	0.000

Question 2 (4 points)

Lors du convertissage de la fonte liquide en acier liquide à 1800 K, de l'oxygène pur est injecté dans le métal liquide pour enlever le carbone en excès par la réaction suivante :



Les bulles de CO formées sont à une pression d'environ 1 bar.

Au début de l'injection d'oxygène, quand la fraction molaire de carbone (X_C) est encore assez élevée, la réaction ne produit que du $\text{CO}_{(\text{g})}$. Dans ce cas, l'oxyde de fer liquide (FeO) n'est pas formé. Cependant, il existe une teneur minimum en carbone à laquelle le FeO commence à se former. Calculer la fraction molaire de carbone minimum à laquelle le FeO commence à se former (supposez FeO pur), sachant que :



Le coefficient d'activité du carbone dans le fer liquide à 1800 K vaut $\gamma_C^o = 0.572$.

Question 3 (4 points)

Un contenant de 100 litres est vidé. On y introduit ensuite 0.200 moles de H_2S . Le contenant et son contenu sont ensuite chauffés jusqu'à 1050°C et on laisse au système le temps de s'équilibrer. La pression d'équilibre à 1050°C est mesurée comme étant 0.258 bar. Calculez la constante d'équilibre à 1050°C de la réaction de dissociation du H_2S , soit : $2 \text{H}_2\text{S}_{(\text{g})} = 2 \text{H}_{2(\text{g})} + \text{S}_{2(\text{g})}$.

Question 4 (4 points)

Le diagramme d'équilibre Fe-Mo (fer-molybdène) est montré à la figure 1. Quatre compositions sont indiquées sur la figure, soient :

- A. 40 % atomique de Mo;
- B. 60 % atomique de Mo;
- C. 90 % atomique de Mo;
- D. 95 % atomique de Mo.

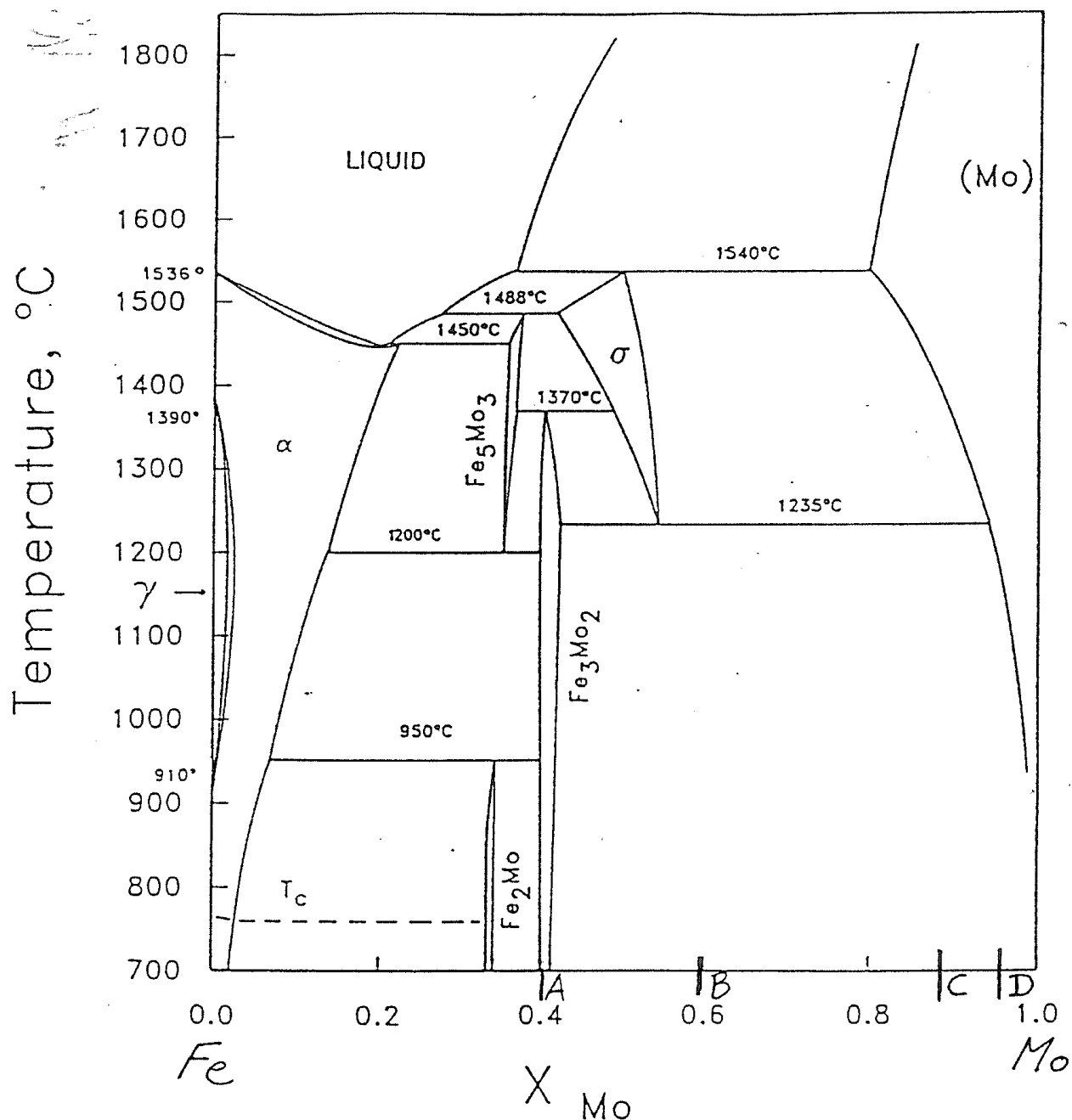


Figure 1: Le diagramme d'équilibre Fe – Mo (en fraction molaire)

- Donnez pour les alliages A et B la température à laquelle la phase liquide apparaît lors du chauffage, et pour les alliages C et D la température à laquelle une seconde phase précipite lors du refroidissement.
- Les 4 alliages sont homogénéisés en phase liquide avant d'être refroidis extrêmement lentement jusqu'à 25°C. Lors d'un examen microscopique, on observe les microstructures suivantes :

- Échantillon I : Une matrice de Mo avec des précipités. Une analyse plus fine fait ressortir que les précipités sont biphasés;
- Échantillon II : Une matrice de Mo avec des précipités. Une analyse plus fine fait ressortir que les précipités sont monophasés;
- Échantillon III : Une seule phase homogène;
- Échantillon IV : Des grains de Mo et des grains d'un constituant biphasés. La fraction volumique des grains biphasés est très supérieure à celle des grains de Mo.

Identifiez quels sont les Échantillons I, II, III et IV qui correspondent aux alliages A, B, C et D

- iii. Quels sont les noms usuels des invariants à 950°C, 1200°C, 1235°C, 1450°C, 1488°C et 1540°C ?

Question 5 (4 points)

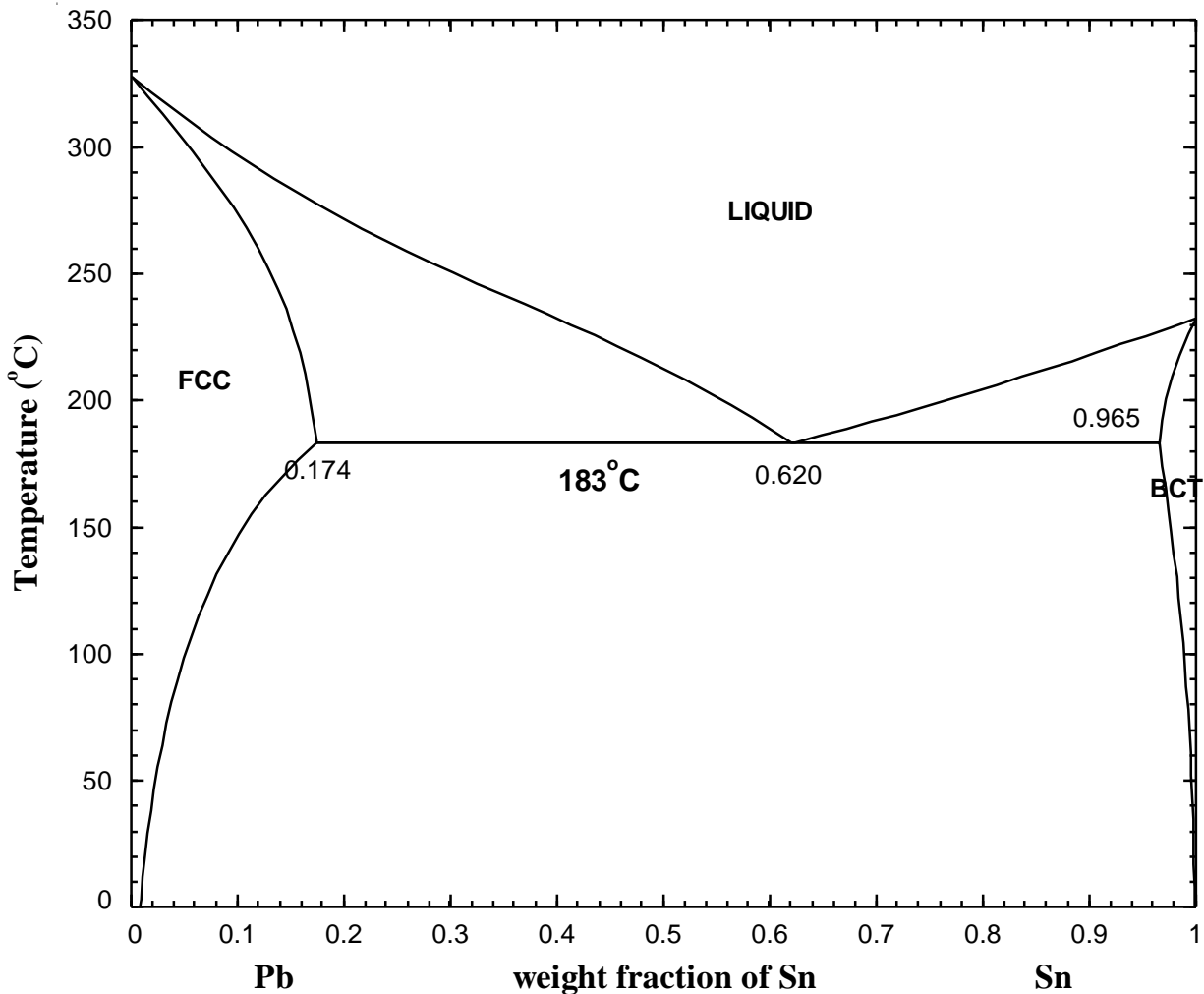


Figure 2: Le diagramme d'équilibre Pb – Sn (en fraction massique d'étain)

Le diagramme d'équilibre Pb-Sn (en fraction massique d'étain) est donné à la Figure 2. En plus de la solution liquide, deux solutions solides terminales sont présentes: Pb-cubique-face-centrée (FCC) et Sn-tétraгонаle-centrée (BCT).

Pour 120 grammes d'un alliage à 80 % poids Pb – 20 % poids Sn qui est refroidit de l'état 100% liquide en conditions d'équilibre:

- a) Donner la masse et la composition (fraction massique de Sn) des phases qui sont présentes à 183.1°C ;
- b) Donner la masse et la composition (fraction massique de Sn) des phases qui sont présentes à 182.9°C; donner de plus la masse de $FCC_{\text{pro-eutectique}}$, $FCC_{\text{eutectique}}$ et $BCT_{\text{eutectique}}$.