

# Thermodynamique et cinétique géochimiques

L3 STEP  
L3 ENS

Partiel Salle Océane. Bâtiment N1  
Le lundi 10 mars 2008 à 9h30  
Durée : 1 heure 15

## 1. 5 min. 2 points

Montrez à partir d'un graphique simple représentant l'enthalpie libre que, pour un corps pur, l'état gazeux est favorisé par rapport à l'état liquide, lui-même favorisé par rapport à l'état solide, lorsque la température augmente.

**Graphique G(T) avec une pente (-S) plus négative pour le gaz que pour le liquide que pour le solide.**

## 2. 5 min. 2 points

Montrez à partir d'un graphique simple représentant l'enthalpie libre que, pour un corps pur, l'état gazeux est favorisé par rapport à l'état liquide, lui-même favorisé par rapport à l'état solide, lorsque la pression diminue.

**Graphique G(P) avec une pente (V) plus grande pour le gaz que pour le liquide que pour le solide.**

## 3. 15 min. 4 points

Expliquez ce qu'est le diagramme d'Urey de classification des chondrites et représentez le schématiquement.

**Axes : fer réduit et fer oxydé. Chondrites à enstatite, chondrites ordinaires et chondrites carbonées.**

Donnez les principaux processus élémentaires qui permettent de se déplacer dans ce diagramme.

**A haute température, MgSiO<sub>3</sub> et Fe**

**Si la température diminue on fait apparaître FeO en phase solide.**

**Ex : Fe(s) + 2 MgSiO<sub>3</sub>(s) + CO(g) --> FeSiO<sub>3</sub>(s) + C(s) + Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>(s)**

**et : 2 FeSiO<sub>3</sub>(s) + Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>(s) --> Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>(s) + 2 FeSiO<sub>3</sub>(s)**

**Globalement, cela augmente le fer oxydé.**

**Si elle diminue encore plus, on réagit avec l'eau, plus probablement à l'état liquide à la surface de corps parents**

**Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>(s) + MgSiO<sub>3</sub>(s) + 2 H<sub>2</sub>O(l) --> Mg<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>(s)**

**et : 3 Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>(s) + H<sub>2</sub>O(l) --> Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(s) + 2 FeSiO<sub>3</sub>(s) + H<sub>2</sub>(g)**

**Ce qui augmente encore l'oxydation du fer.**

## 4. 5 min. 2 points

Représentez schématiquement le diagramme de phases du fer dans le noyau terrestre et expliquez à partir de ce diagramme pourquoi la Terre possède un noyau liquide externe et un noyau solide central (la graine).

**Superposition diagramme de phases du fer et géotherme.**

**5. 5 min. 2 points**

Énoncez et démontrez (à partir des conditions d'équilibre) l'équation de Clapeyron de la courbe d'équilibre de phases du corps pur. Quelle est la variance de cet équilibre ?

$$dP/dT = \Delta_r S / \Delta_r V$$

$$\text{démontrée par } d\Delta_r G = -\Delta_r S dT + \Delta_r V dP = 0$$

$\nu = 1$  (1 constituant sous deux phases).

**6. 5 min. 2 points**

Sachant que la pente de la droite d'équilibre de phases solide/liquide du fer dans le noyau est de  $5 \cdot 10^7 \text{ Pa}\cdot\text{K}^{-1}$  et que l'intérieur de la Terre se refroidit à la vitesse de 100 K par milliard d'années, calculez la profondeur de la limite entre noyaux liquide et solide dans 1 milliard d'années. Données utiles : dans le noyau la pression change de  $5 \cdot 10^4 \text{ Pa}\cdot\text{m}^{-1}$  ; la profondeur actuelle de la limite entre noyaux liquide et solide est de 5150 km.

**Dans 1 milliard d'années, 100 K de moins dans le noyau. L'équilibre solide/liquide se fera à  $5 \cdot 10^9 \text{ Pa}$  de moins ce qui représente 100 km de plus pour la graine.**

**7. 15 min. 4 points**

Sachant que la variation de volume lors de la cristallisation du fer dans le noyau est de  $3 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$ , estimez le flux de chaleur libéré dans la Terre par cette cristallisation. On estime la température à la frontière du noyau liquide et du noyau solide à environ 5000 K et on considèrera que la densité du fer à cette profondeur vaut 12.

**Volume de graine formé en 1 milliard d'années :  $2 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$ . Masse de fer cristallisée :  $2.4 \cdot 10^{22} \text{ kg}$  de fer.**

$$\text{Or, } \Delta_r S = (dP/dT) \Delta_r V = 150 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}.$$

$$\text{Donc la chaleur libérée par cristallisation est de : } T \cdot \Delta_r S = 7.5 \cdot 10^5 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$\text{Donc de flux de chaleur est de } 1.82 \cdot 10^{28} \text{ J en 1 Ga} = 0.6 \cdot 10^{12} \text{ W}.$$

**8. 5 min. 2 points**

Représentez le diagramme de la figure 4 si l'on considère maintenant que le noyau n'est pas constitué de fer pur mais d'un alliage de fer-nickel. Quelle est alors la variance de l'équilibre solide/liquide ?

**Les lignes d'équilibre de phases sont remplacés par des domaines bi-dimensionnels d'équilibre.  $\nu = 2$  (2 constituants, 2 phases)**