

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, MgSiO₃ et Fe

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

Ex : Fe(s) + 2 MgSiO₃(s) + CO(g) --> FeSiO₃(s) + C(s) + Mg₂SiO₄(s)

et : 2 FeSiO₃(s) + Mg₂SiO₄(s) --> Mg₂SiO₄(s) + 2 FeSiO₃(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

Mg₂SiO₄(s) + MgSiO₃(s) + 2 H₂O(l) --> Mg₃Si₂O₅(OH)₄(s)

et : 3 Fe₂SiO₄(s) + H₂O(l) --> Fe₃O₄(s) + 2 FeSiO₃(s) + H₂(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 ?

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

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

$v = 1$ (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. $V = 2$ (2 constituants, 2 phases)