

TD 1 : exemple de description thermodynamique de la nébuleuse solaire et de la différenciation planétaire. Questions-réponses

1. Commentez brièvement la courbe d'abondance cosmique des éléments chimiques. À quels milieux naturels s'applique cette courbe d'abondance ?

Elements d'autant moins abondants qu'ils sont plus lourds

Pic positif autour du fer

Pic négatif pour Li, Be et B

Alternance pair/impair

Ces abondances caractérisent le milieu interstellaire, les étoiles, les galaxies et aussi le soleil et la moyenne du système solaire

2. Le milieu interstellaire et les nébuleuses protostellaires sont constituées de gaz et de poussières.

- *donnez les éléments chimiques principaux qui constituent ces gaz et ces poussières*

Gaz : surtout de l'hydrogène sous forme H_2 et de l'He. Carbone et oxygène sous forme de CO , CH_4 . Azote sous forme de N_2 .

H_2O , CO_2 , NH_3 existent aussi relativement abondamment. Suivant la température, ces molécules sont soit sous forme de gaz, soit sous forme de poussières de glace.

Les autres poussières sont constituées de carbone C, et surtout de métal Fe et de silicates de magnésium

- *expliquez comment on obtient des informations sur les silicates constitutifs de ces poussières ?*

Par spectroscopie infrarouge (absorption de lumière stellaire ou émission thermique)

3. Commentaire de la séquence de condensation

- 3.1. Dans les régions de haute température de la nébuleuse on a, outre le gaz, les minéraux kamacite (Fe), forsterite (Mg_2SiO_4) et enstatite ($MgSiO_3$). Dans le gaz, on considérera les espèces $Fe(g)$, $Mg(g)$, $CO_2(g)$, $CO(g)$ et $SiO(g)$

- *définir les variables naturelles de ce système thermodynamique*

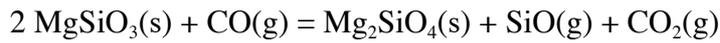
8 : $N_{Fe(g)}$, $N_{Fe(s)}$, $N_{Mg(g)}$, $N_{CO_2(g)}$, $N_{CO(g)}$, $N_{SiO(g)}$, $N_{Mg_2SiO_4(s)}$, $N_{MgSiO_3(s)}$

- *définir les processus élémentaires permettant une description complète du système*

6

$Fe(g) = Fe(s)$

$Mg(g) + SiO(g) + 2CO_2(g) = MgSiO_3(s) + 2CO(g)$



- construire sous forme de tableau les vecteurs processus élémentaires dans l'espace des variables naturelles et écrire l'évolution du vecteur d'état du système
voir Doc-6

- définir une base de processus élémentaires :

3 : 1,3,5 (5 lois de conservation)

- définir les coefficients de distribution (ou de partage) des éléments entre phases solides et phases gazeuses

exemple $D_{\text{Mg}}^{(\text{g})-(\text{s})} = X_{\text{Mg}}^{(\text{g})} / X_{\text{Mg}}^{(\text{s})}$. où X représente une abondance normalisée (exemple concentration massique ou fraction molaire). Coefficient de distribution du Mg entre la phase gazeuse et la phase solide.

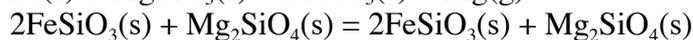
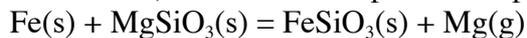
- Discuter qualitativement l'effet d'une augmentation de Si dans le système

On augmente le SiO et la proportion d'ensatite par rapport à la forsterite.

C'est ce genre de paramètres qui fixe les proportions de Si et Mg dans la Terre. On peut multiplier les expériences mais pas indéfiniment et cela montre la pertinence d'une approche de modélisation permettant de prédire- d'interpoler les résultats d'expériences virtuelles

3.2. Dans les compartiments de plus basse température, décrire la formation des solutions solides Mg-Fe et définir le coefficient de partage fer/magnésium entre les deux phases solides

Il faut ajouter les deux variables naturelles $\text{FeSiO}_3(\text{s})$ et $\text{Fe}_2\text{SiO}_4(\text{s})$ et donc 2 processus permettant de faire apparaître ces variables (et donc de les mesurer dans des expériences ou de les calculer). Pour ces deux processus, par exemple



Exemple : on écrit les coefficients de distribution du fer et du magnésium entre les phases olivine et pyroxène

$$D_{\text{Fe}}^{(\text{ol})-(\text{pyr})} = X_{\text{Fe}}^{(\text{ol})} / X_{\text{Fe}}^{(\text{pyr})} . D_{\text{Mg}}^{(\text{ol})-(\text{pyr})} = X_{\text{Mg}}^{(\text{ol})} / X_{\text{Mg}}^{(\text{pyr})} .$$

Le coefficient du partage fer-magnésium entre l'olivine et le pyroxène s'écrit alors :

$$K_{\text{Fe-Mg}}^{(\text{ol})-(\text{pyr})} = D_{\text{Fe}}^{(\text{ol})-(\text{pyr})} / D_{\text{Mg}}^{(\text{ol})-(\text{pyr})}$$