

Composition chimique de la Terre - Travaux dirigés : correction

29/01/2002

Auteur(s) :

Isabelle Daniel

Laboratoire des Sciences de la Terre - ENS Lyon - Université Lyon 1

Philippe Gillet

Laboratoire des Sciences de la Terre - ENS Lyon - Université Lyon 1

Publié par :

Emmanuelle Cecchi

Benoît Urgelli

Résumé

Correction de travaux dirigés. Calcul des rapports et teneurs massiques en éléments principaux pour le manteau primitif et la Terre globale, calcul de la composition chimique du noyau terrestre.

Table des matières

- [Composition chimique du manteau primitif de la Terre](#)
 - [Rapports massiques dans le manteau primitif](#)
 - [Teneurs massiques dans le manteau primitif](#)
- [Composition chimique de la Terre globale et du noyau terrestre](#)
 - [Rapports massiques dans la Terre globale](#)
 - [Composition chimique du noyau terrestre](#)
 - [Composition chimique globale de la Terre](#)

Correction des travaux dirigés "[Composition chimique de la Terre](#)".

Composition chimique du manteau primitif de la Terre

Rapports massiques dans le manteau primitif

a. Justifiez les valeurs des rapports $(Al/Mg)_{MP}$ et $(Si/Mg)_{MP}$ qui ont été choisies, sachant que Mg est un élément compatible, c'est-à-dire qu'il se concentre préférentiellement dans les minéraux en non dans les magmas lors du processus de fusion partielle. En revanche, Si, Al et Ca sont des éléments incompatibles qui tendent à être enrichis dans les magmas.

REPONSE

Les échantillons mantelliques les plus proches du manteau primitif, c'est à dire du manteau avant fusion partielle, sont relativement enrichis en éléments incompatibles (Si, Al,...) et appauvris en éléments compatibles (Mg, ...) par rapport au manteau supérieur actuel. On choisit donc les échantillons ayant les plus fortes valeurs des

rapports (Al/Mg) et (Si/Mg), c'est à dire $(Al/Mg)_{MP}=0,095$ et $(Si/Mg)_{MP}=0,945$.

b. Que vaut le rapport massique $(Si/Al)_{MP}$?

REPONSE

$$(Si / Al)_{MP} = (Si / Mg)_{MP} / (Al / Mg)_{MP}$$

$$A.N. : (Si / Al)_{MP} = 9.947$$

c. Calculez le rapport massique $(Mg/Fe)_{MP}$, sachant que la plupart des échantillons mantelliques ont un rapport atomique $Mg / (Mg + Fe) = 0.9$.

REPONSE

Il s'agit là de transformer un rapport atomique en rapport massique. Exprimons donc le rapport atomique (Fe/Mg) en fonction du rapport atomique R énoncé ci-dessus :

$$(Fe / Mg)_{at} = (1/R) - 1$$

Par conséquent, on peut alors simplement exprimer le rapport massique :

$$(Fe / Mg)_{MP} = M_{Fe} / M_{Mg} \cdot (Fe / Mg)_{at} = M_{Fe} / M_{Mg} \cdot ((1/R) - 1)$$

$$A.N. : (Fe / Mg)_{MP} = 0.255$$

d. Combien vaut alors le rapport massique $(Fe/Al)_{MP}$?

REPONSE

$$(Fe / Al)_{MP} = (Fe / Mg)_{MP} / (Al / Mg)_{MP}$$

$$A.N. : (Fe / Al)_{MP} = 2.687$$

Teneurs massiques dans le manteau primitif

À partir des rapports que vous venez de déterminer, calculez la composition chimique du manteau primitif de la Terre en % massique des éléments Si, Al, Mg, Fe, Ca et O.

On suppose que le manteau primitif était entièrement constitué par ces six éléments. Dans le manteau, l'oxygène est associé aux cations Si, Al, Mg, Fe et Ca sous la forme d'oxydes SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , FeO et CaO afin d'obtenir l'électroneutralité.

REPONSE

On écrit donc que :

$$[Si] + [Al] + [Mg] + [Fe] + [Ca] + [O] = 100$$

L'étape suivante est d'exprimer la teneur massique [O] en fonction des teneurs massiques des cations ; pour ce faire, on utilise la formule chimique des oxydes des différents cations impliqués, et l'on peut alors écrire que :

$$[O] = M_O \cdot (2(Si/M_{Si}) + 3/2(Al/M_{Al}) + Mg/M_{Mg} + Fe/M_{Fe} + Ca/M_{Ca})$$

Ainsi on obtient:

$$[Si] \cdot (1+2 \cdot (M_O/M_{Si})) + [Al] \cdot (1+3/2 \cdot (M_O/M_{Al})) + [Mg] \cdot (1+M_O/M_{Mg}) + [Fe] \cdot (1+M_O/M_{Fe}) + [Ca] \cdot (1+M_O/M_{Ca}) = 100$$

Si l'on veut par exemple calculer [Si], il suffit alors d'exprimer les autres teneurs massiques en fonction de [Si] et des rapports massiques (ou de leur inverse) que l'on a calculés à la question 1.

$$[Si] \cdot (1+2 \cdot (M_O/M_{Si})) + [Si] \cdot (Al/Si) \cdot (1+3/2 \cdot (M_O/M_{Al})) + [Si] \cdot (Mg/Si) \cdot (1+M_O/M_{Mg}) + [Si] \cdot (Fe/Al) \cdot (Al/Si) \cdot (1+M_O/M_{Fe}) + [Si] \cdot (Ca/Al) \cdot (Al/Si) \cdot (1+M_O/M_{Ca}) = 100$$

$$[Si] = 100 / ((1+2 \cdot (M_O/M_{Si})) + (Al/Si) \cdot (1+3/2 \cdot (M_O/M_{Al})) + (Mg/Si) \cdot (1+M_O/M_{Mg}) + (Fe/Al) \cdot (Al/Si) \cdot (1+M_O/M_{Fe}) + (Ca/Al) \cdot (Al/Si) \cdot (1+M_O/M_{Ca}))$$

On procède de même pour les autres cations Al, Mg, Fe et Ca. Les résultats des applications numériques sont inscrits dans le tableau 1. Et la somme boucle à 100%...

données: $M_{Fe} = 55,847$ g mol⁻¹, $M_{Mg} = 24,305$ g mol⁻¹, $M_{Ca} = 40,078$ g mol⁻¹, $M_{Si} = 28,085$ g mol⁻¹, $M_{Al} = 26,980$ g mol⁻¹, $M_O = 15,999$ g mol⁻¹.

Composition chimique de la Terre globale et du noyau terrestre

Rapports massiques dans la Terre globale

a. Expliquez avec concision pourquoi les rapports massiques entre éléments lithophiles ont la même valeur dans le manteau primitif que dans la Terre globale.

REPONSE

Les éléments lithophiles ont des comportements semblables ; c'est à dire que, n'ayant aucune affinité chimique pour le fer, ils ne migrent pas dans le noyau lors de sa formation et restent dans le manteau. Leur concentration augmente donc dans le manteau primitif après ségrégation du noyau, mais les rapports initiaux caractéristiques de la Terre globale sont préservés dans le manteau primitif.

b. Déterminez à partir de la figure 2 a–d les rapports massiques (Fe/Al), (Fe/Mg), (Si/Mg) et (Ni/Al) dans la Terre globale.

REPONSE

En abscisse des graphes a, b et c, figurent des rapports entre éléments lithophiles uniquement, et donc similaires pour le manteau primitif et pour la Terre globale. A partir des valeurs reportées dans le tableau 1, on peut graphiquement déterminer les valeurs des rapports (Fe/Al)_{TG}, (Fe/Mg)_{TG} et (Si/Mg)_{TG} qui sont les ordonnées correspondantes. Les valeurs numériques sont reportées dans le tableau 3. Le rapport (Ni/Al)_{TG} est obtenu dans un second temps, une fois (Fe/Al)_{TG} déterminé.

c. Calculez alors la composition chimique globale de la Terre en % massique des éléments Si, Al, Mg, Fe, Ni, Ca et O.

Composition chimique du noyau terrestre

a. En écrivant une équation de bilan de masse pour Fe et Mg dans la Terre globale, établir l'équation suivante qui donne la teneur en fer du noyau (Fe)_N:

$$(\text{Fe})_N = [(\text{Fe} / \text{Mg})_{\text{TG}} - (\text{Fe} / \text{Mg})_{\text{MP}}] \times (\text{Mg})_{\text{MP}} \times (m_M / m_N)$$

où m_M et m_N représentent respectivement la masse du manteau et celle du noyau. $m_M = 4,09 \cdot 10^{24}$ kg, $m_N = 1,967 \cdot 10^{24}$ kg

Que vaut (Fe)_N ?

REPONSE

Bilan de masse pour Fe:

$$m_T[\text{Fe}]_{\text{TG}} = m_M[\text{Fe}]_{\text{MP}} + m_N[\text{Fe}]_N$$

Bilan de masse pour Mg, qui est un élément lithophile, qui est absent du noyau terrestre:

$$m_T[\text{Mg}]_{\text{TG}} = m_M[\text{Mg}]_{\text{MP}}$$

Le rapport entre ces deux égalités, terme à terme se traduit par:

$$(\text{Fe}/\text{Mg})_{\text{TG}} = (\text{Fe}/\text{Mg})_{\text{MP}} + (m_N/m_M) \cdot ([\text{Fe}]_N / [\text{Mg}]_{\text{MP}})$$

Par conséquent:

$$[\text{Fe}]_N = [(\text{Fe}/\text{Mg})_{\text{TG}} - (\text{Fe}/\text{Mg})_{\text{MP}}] \cdot [\text{Mg}]_{\text{MP}} \cdot (m_M/m_N)$$

Valeur de [Fe]_N: Il suffit d'effectuer l'application numérique en utilisant la valeur de [Mg]_{MP} obtenue dans la première partie de l'exercice (tableau 2).

$$\text{A.N. : } [\text{Fe}]_N = 75,08\%$$

b. Calculez alors la teneur en silicium du noyau (Si)_N.

De la même façon qu'a la question a, on écrit que:

$$[\text{Si}]_N = [(\text{Si}/\text{Mg})_{\text{TG}} - (\text{Si}/\text{Mg})_{\text{MP}}] \cdot [\text{Mg}]_{\text{MP}} \cdot (m_M/m_N)$$

Le résultat de l'application numérique est directement reporté dans le tableau 2.

c. Calculez également la teneur en nickel du noyau $(Ni)_N$, en utilisant $(Ni)_M = 2000$ ppm, qui est la teneur en Ni des nodules de péridotites mantelliques les moins différenciées.

Encore une fois, comme pour les questions a et b, on écrit que:

$$[Ni]_N = [((Ni/Al)_{TG} \cdot [Al]_{MP}) - [Ni]_{MP}] \cdot (m_M/m_N)$$

d. Vous complétez alors la composition chimique du noyau par O et S, en proportions égales. Vous expliquerez pourquoi il est nécessaire d'introduire ces deux éléments dans la composition chimique du noyau.

D'une part, la composition chimique obtenue ci-dessus ne boucle pas à 100%. D'autre part, les modèles sismologiques tels que PREM indique que le noyau externe ne peut être constitué que de Fe et Ni. Il serait trop dense. D'où la nécessité de compléter la composition chimique obtenue ci-dessus par des éléments légers sidérophiles. Si, O et S sont les meilleurs candidats. En l'absence d'information complémentaire, on peut proposer que O et S soient en proportions égales.

Composition chimique globale de la Terre

Calculez à présent la composition chimique globale de la Terre en % massique des éléments Si, Al, Mg, Fe, Ni, Ca et O.

Pour les éléments d'affinité strictement sidérophile (Al, Mg, Ca),

$$m_T[Al]_{TG} = m_M[Al]_{MP}$$

$$[Al]_{TG} = (m_M / (m_M + m_N)) \cdot [Al]_{MP}$$

Pour les éléments sidérophiles (Si, Fe, Ni, O),

$$m_T[Si]_{TG} = m_M[Si]_{MP} + m_N[Si]_N$$

$$[Si]_{TG} = (m_M / (m_M + m_N)) \cdot [Si]_{MP} + (m_N / (m_M + m_N)) \cdot [Si]_N$$

Les résultats des applications numériques sont donnés dans le tableau 2.

Tableau 1. Composition chimique du manteau primitif

Rapports massiques dans le manteau primitif MP	Teneurs massiques dans le manteau primitif MP(%)
$(Al / Mg)_{MP} = 0.095$	O = 44.645
$(Si / Mg)_{MP} = 0.945$	Si = 21.82
$(Ca / Mg)_{MP} = 1.07$	Mg = 23.10
$(Si / Al)_{MP} = 9.947$	Fe = 5.893
$(Fe / Mg)_{MP} = 0.255$	Al = 2.194
$(Fe / Al)_{MP} = 2.687$	Ca = 2.348

Tableau 2. Composition chimique du noyau de la Terre Globale

Rapports massiques sidérophiles/lithophiles dans la Terre Globale TG	Teneurs massiques dans le noyau (%)	Teneurs massiques dans la Terre Globale TG (%)
$(Fe / Al)_{TG} = 18.8$	Fe = 75.17	O = 32.22
$(Fe / Mg)_{TG} = 1.82$	Ni = 4.60	Si = 17.15
$(Si / Mg)_{TG} = 1.10$	Si = 7.45	Al = 1.48
$(Ni / Al)_{TG} = 1.10$	O = 6.39	Mg = 15.60

	S = 6.39	Fe = 28.39
		Ca = 1.58
		Ni = 1.63