

# Composition chimique de la Terre - Travaux dirigés

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

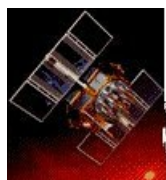
Benoît Urgelli

*Résumé*

*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](#)



Ces travaux dirigés ont été réalisés dans le cadre des "Journées ENS-IPR - décembre 2001". Le thème de ces journées était "La Planète Terre : de l'observation à la modélisation", avec une partie consacrée à la question de la [chimie de la Terre](#).

Les réponses sont présentées dans un article séparé "[Composition chimique de la Terre - Travaux dirigés : correction](#)".

## Composition chimique du manteau primitif de la Terre

Le manteau primitif de la Terre (MP) représente le manteau de la Terre à la fin de sa différenciation, c'est le

manteau avant l'extraction de la croûte continentale.

Bien que le manteau actuel soit différent du manteau primitif, on peut estimer la composition de ce dernier en étudiant la composition chimique de nodules de péridotites extraits du manteau actuel. Cette démarche repose sur deux hypothèses:

- le manteau actuel (supérieur et inférieur) est chimiquement homogène pour les éléments majeurs ( Si, Mg, Fe, O, Al, Ca),
- l'extraction de la croûte continentale n'a pas modifié significativement la composition chimique du manteau pour les éléments majeurs que vous allez étudier.

Vous reporterez au fur et à mesure vos résultats numériques dans le tableau suivant:

**Tableau 1. Tableau de la 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
$(Si / Mg)_{MP} = 0.945$	Si
$(Ca / Mg)_{MP} = 1.07$	Mg
$(Si / Al)_{MP} =$	Fe
$(Fe / Mg)_{MP} =$	Al
$(Fe / Al)_{MP} =$	Ca

### Rapports massiques dans le manteau primitif

Les rapports massiques (Al/Mg) et (Si/Mg) du manteau primitif, désignés respectivement par  $(Al/Mg)_{MP}$  et  $(Si/Mg)_{MP}$  sont déterminés à partir de la composition chimique d'une série de nodules mantelliques (Fig.1).

On donnera aussi au manteau primitif un rapport massique  $(Ca/Al)_{MP} = 1,07$ , car c'est une valeur relativement constante du rapport (Ca/Al) dans les météorites.

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.

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

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

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

### 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'électro-neutralité.

Données:

$M_{Fe} = 55,847 \text{ g mol}^{-1}$ ,  $M_{Mg} = 24,305 \text{ g mol}^{-1}$ ,  $M_{Ca} = 40,078 \text{ g mol}^{-1}$ ,  $M_{Si} = 28,085 \text{ g mol}^{-1}$ ,  $M_{Al} = 26,980 \text{ g mol}^{-1}$ ,  $M_{O} = 15,999 \text{ g mol}^{-1}$ .

## Composition chimique de la Terre globale et du noyau terrestre

Il s'agit dans cette partie d'estimer la composition chimique globale de la Terre (TG) en éléments majeurs. Cette composition TG représente celle qu'avait la Terre à la fin de son accrétion et avant que le noyau ne s'individualise du manteau primitif. Pour ce faire, on fait l'hypothèse que les météorites chondritiques et la Terre ont des liens de parenté, c'est à dire que la Terre a une composition globale chondritique.

Afin de calculer des rapports massiques d'éléments de la Terre globale, on utilise la variabilité de l'affinité des éléments chimiques pour le fer. Une première classe d'éléments regroupe les éléments lithophiles qui ne présentent aucune affinité avec le fer; c'est le cas de Mg, Ca et Al. La seconde classe d'éléments regroupe les éléments sidérophiles qui peuvent coexister avec le fer; il s'agit par exemple de Ni, O, S ou Si.

En supposant que les rapports massiques d'éléments lithophiles sont identiques dans la Terre globale TG et dans le manteau primitif MP, on peut donc déterminer les rapports massiques dans la Terre globale impliquant un élément sidérophile à partir de diagrammes de corrélation sidérophile/lithophile – lithophile/lithophile dans les météorites de type chondrites. Les diagrammes des figures 2a à 2c sont ce type.

Vous reporterez vos résultats numériques au fur et à mesure dans le tableau suivant:

**Tableau 2. Tableau de la 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 (%)
$(Fe / Al)_{TG} =$	Fe	O
$(Fe / Mg)_{TG} =$	Ni	Si
$(Si / Mg)_{TG} =$	Si	Al
$(Ni / Al)_{TG} =$	O	Mg
	S	Fe
		Ca
		Ni

### 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.

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.

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

Voir aussi l'article sur [le 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  $(Fe)_N$ :

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

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  $(Fe)_N$  ?

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

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.

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.

### 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.

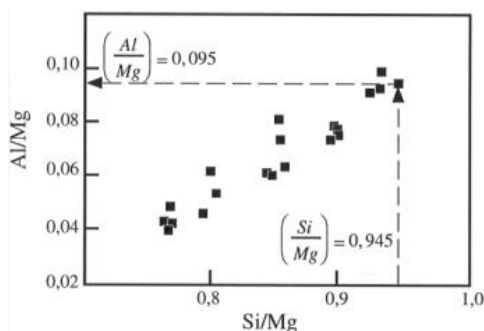


Figure 1. Évolution du rapport  $(Al/Mg)$  en fonction du rapport  $(Si/Mg)$  d'un ensemble de xénolithes mantelliques.

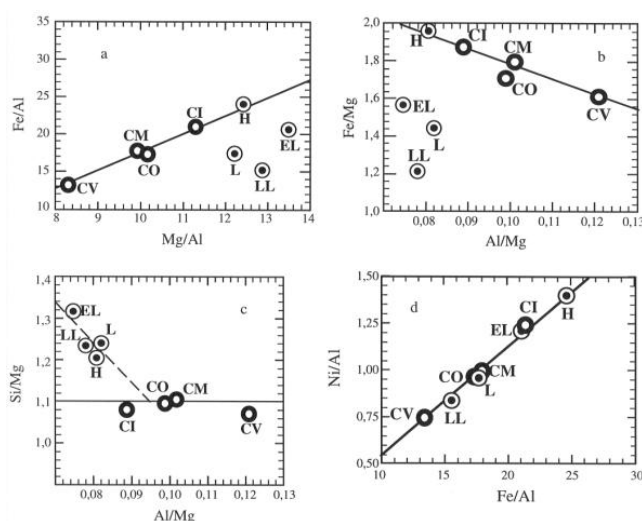


Figure 2. Évolution des rapports  $(Fe/Al)$  en fonction de  $(Mg/Al)$ ,  $(Fe/Mg)$  en fonction de  $(Al/Mg)$ ,  $(Si/Mg)$  en fonction de  $(Al/Mg)$  et  $(Ni/Al)$  en fonction de  $(Fe/Al)$  pour une série de chondrites.

Les symboles "cercles pleins" et "cercles vides" représentent respectivement les météorites chondritiques carbonées et ordinaires. La droite de régression représentative des différentes chondrites, est représentée en trait gras.