

CONCEPTS ET PROCESSUS

1

OBJECTIFS

- L'évolution chimique de la Terre procède par des mécanismes souvent complexes pouvant être décomposés en **processus unitaires**. Le principe fondamental en est le **bilan de masse** que l'on appliquera à quelques processus de différenciation terrestre simples mais fondamentaux : mélange, fusion et cristallisation.

1.1 MÉLANGES GÉOCHIMIQUES

Les séparations de phases (cristallisation des carbonates marins, explosion volcanique...) et les mélanges (exutoire d'un fleuve dans l'océan, dépôt d'un sédiment...) constituent des cas de figure extrêmement communs dans la nature. La géochimie permet souvent d'analyser ces processus de façon quantitative. Nous allons rappeler ici comment le mélange de deux composés quelconques en proportions quelconques, peut être abordé de façon quantitative.

1.1.1 Mélange binaire simple

Au Piton de la Fournaise, on rencontre des laves appelées picrites. Ce sont des roches contenant des cristaux d'olivine (jusqu'à 25 % environ) dans une matrice basaltique. Les pétrologues ont longtemps débattu de la signification de ces roches. Nous suivons les interprétations d'Albarède *et al.* (1997) documentées par de nombreuses données géochimiques. Ces auteurs proposent que les picrites résultent très simplement du mélange d'un basalte avec des cumulats (très riches en olivine) produits de magmas basaltiques ayant subi une cristallisation fractionnée. Nous allons voir que l'analyse géochimique permet de vérifier cette hypothèse.

Dans un diagramme figurant la teneur en Ni en fonction de MgO, cumulats et basaltes se placent aux deux extrémités d'un segment le long duquel se situent tous les points représentatifs des picrites : cumulats et basaltes sont deux pôles du mélange binaire (figure 1.1). Cette propriété découle simplement du principe de bilan de masse. Nous avons pour une picrite de masse M constituée du mélange d'une masse M_1 de cumulats et M_2 de basalte, la relation

$$M = M_1 + M_2 \quad (11.1)$$

Chapitre 1 • Concepts et processus

et si l'on considère la fraction massique de cumulats dans le mélange $M_1/M = X$, il vient :

$$M_2/M = 1 - X$$

Nous avons écrit le bilan de masse global, mais nous pouvons aussi écrire le bilan pour les constituants chimiques et leur fraction massique dans les roches. Par exemple :

$$\begin{aligned} (\text{Ni})_p &= (\text{Ni})_1 X + (\text{Ni})_2 (1 - X) \\ \text{soit } (\text{Ni})_p &= X[(\text{Ni})_1 - (\text{Ni})_2] + (\text{Ni})_2 \end{aligned}$$

D'où l'on tire la fraction X de cumulats :

$$X = \frac{(\text{Ni})_p - (\text{Ni})_2}{(\text{Ni})_1 - (\text{Ni})_2} \quad (11.2)$$

Une relation équivalente peut être écrite pour MgO ou même pour n'importe quel élément chimique :

$$X = \frac{(\text{MgO})_p - (\text{MgO})_2}{(\text{MgO})_1 - (\text{MgO})_2} \quad (11.3)$$

En regroupant (11.2) et (11.3) il vient :

$$(\text{Ni})_p = \frac{(\text{MgO})_p}{(\text{MgO})_1 - (\text{MgO})_2} + \left[(\text{Ni})_2 - \frac{(\text{MgO})_2}{(\text{MgO})_1 - (\text{MgO})_2} \right] \quad (11.4)$$

de la forme $(\text{Ni})_p = a(\text{MgO})_p + b$

La relation entre Ni et MgO pour l'ensemble des picrites est donc bien un segment de droite ($\text{Ni}_2 < \text{Ni}_p < \text{Ni}_1$) dont nous venons de dériver l'équation.

Quel intérêt y a-t-il à formaliser le problème de cette façon ? Pour une picrite donnée si le modèle est correct n'importe quel élément C vérifiera la relation (11.2) soit :

$$(C_p - C_2) = X (C_1 - C_2) \quad (11.5)$$

Dans une roche on peut donc vérifier que le modèle de mélange (figure 1.2) est correct et l'on obtient la fraction de cumulats incorporé par la picrite (figure 1.2). Une autre façon de considérer un mélange et d'étudier un ensemble de roches et montrer que deux éléments quelconques suivent une relation du type (11.5)

$$(Y)_p = a(X)_p + b \quad (11.6)$$

et donc la série des picrites génère une droite dans un diagramme à deux composants Y et X . Ceci pourrait permettre de déterminer les concentrations d'un élément dans des pôles (1) et (2) si elles étaient inconnues. La figure illustre ce principe en comparant le Ni à Al_2O_3 d'une part et au Ce (cérium) d'autre part (figure 1.2).

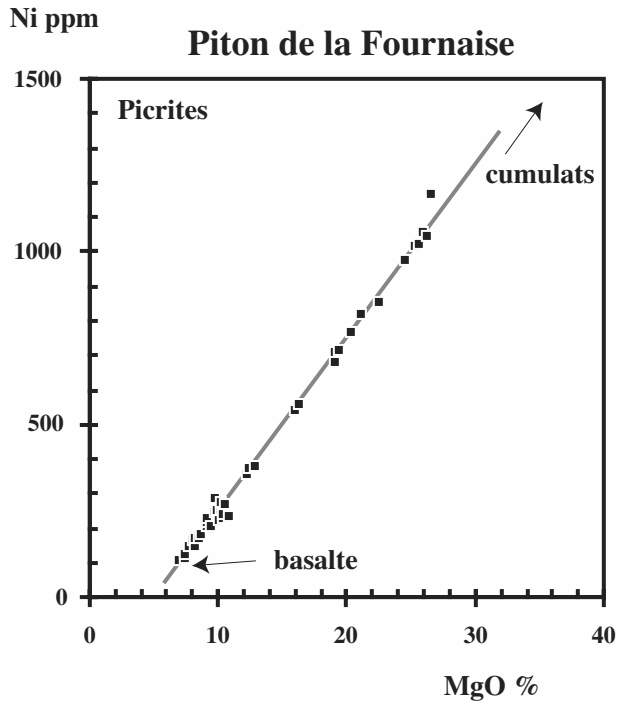


Figure 1.1 - Mélange binaire simple.

Dans un diagramme MgO : Ni les échantillons de picrites du Piton de la Fournaise (Réunion) se placent sur une ligne de mélange entre cumulats (riches en olivine) et basalte (d'après Albarède et al. 1997).

L'exemple de la Fournaise est idéal à cause du nombre élevé d'échantillons ainsi que du nombre d'éléments analysés (45). En l'absence d'informations suffisantes, une distillation ou une cristallisation fractionnée, entre autres, (§ 1.2.2) peuvent conduire à un ensemble de produits dont les points représentatifs s'alignent, à peu de choses près, sur une droite bien qu'il ne s'agisse pas de processus de mélange. D'autre part, lorsqu'un autre processus intervient après le mélange (cristallisation par exemple) les relations simples sont perturbées. Pour ces raisons, on préfère souvent des diagrammes plus sophistiqués.

Piton de la Fournaise

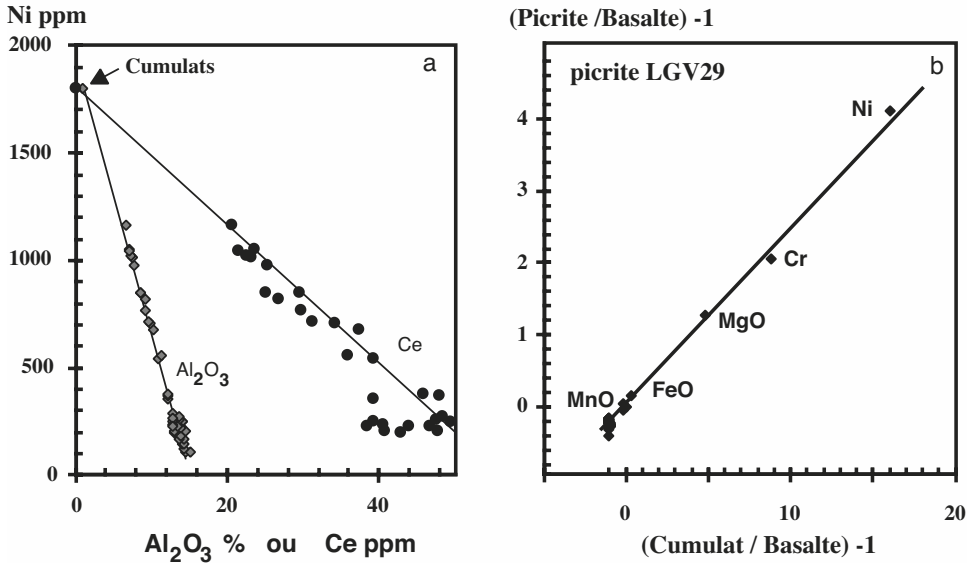


Figure 1.2 - Deux façons de représenter un mélange.

a) Pour un ensemble d'échantillons résultant de mélanges à des degrés divers, la relation entre deux éléments (Ni et Al_2O_3 ou Ni et Ce par exemple) correspond à un segment joignant les deux pôles. b) Si l'on choisit un échantillon (picrite LGV 129) résultant du mélange de deux pôles connus (ici cumulats et basaltes) tous les éléments doivent selon l'équation (11.5) se placer selon une droite passant par l'origine et dont la pente indique la fraction de cumulats incorporés dans l'échantillon considéré [données de Albarède et al. 1997].

1.1.2 Topologie des diagrammes de mélanges

Nous verrons par la suite que le rapport de deux isotopes d'un même élément n'est pas affecté par les processus pétrogénétiques (fusion, cristallisation...). Si l'on mélange deux réservoirs de composition isotopique différente, le produit aura une composition isotopique intermédiaire dépendant uniquement des proportions des deux pôles. Si ce mélange subit ensuite une évolution (cristallisation, etc.) sa composition chimique changera mais pas sa composition isotopique. On voit donc l'intérêt de la mesure de ces rapports pour tester des mélanges éventuels en s'affranchissant de « perturbations » secondaires. L'île de Heard est située dans le sud de l'océan Indien sur le plateau des Kerguelen. Comme toutes les îles océaniques, la composition chimique de ses laves nous informe sur le manteau qui lui a donné naissance par fusion partielle. Les compositions isotopiques des laves de l'île montrent une très bonne cohérence (figure 1.3) sans relation simple avec la composition chimique des roches qui probablement résultent d'une cristallisation fractionnée. Quelles informations peut-on tirer de cette relation ? Pour cela, il convient de considérer les relations entre rapports d'éléments dans le cas d'un mélange.