

RETRACER L'ÉVOLUTION DE LA TERRE SILICATÉE PAR LE COUPLAGE DES SYSTEMES ISOTOPIQUES LANTHANE-CERIUM ET SAMARIUM-NEODYME –

CLAUDINE ISRAEL

RESUME

Les terres rares (REE) sont des éléments chimiques partageant des comportements très similaires lors des processus magmatiques. Lithophiles et réfractaires, ils se concentrent dans la fraction silicatée de la Terre. Parmi les REE, quatre éléments constituent deux systématiques isotopiques de longue vie : ^{138}La - ^{138}Ce ($T_{1/2} = 295.5 \text{ Ga}$) et ^{147}Sm - ^{143}Nd ($T_{1/2} = 106 \text{ Ga}$). Ces systèmes permettent d'apporter une contrainte temporelle à l'évolution de la composition des réservoirs silicatés (croûte – manteau) et de comprendre leur évolution. Par ailleurs, le cérium est sensible aux conditions d'oxydation du milieu et donc présente un comportement différent des autres REE. Dans cette thèse, j'ai couplé les mesures isotopiques Ce-Nd pour mieux contraindre la formation des réservoirs et leur évolution au cours du temps, comme par exemple l'impact du recyclage lors de la subduction sur la composition du manteau.

Les très faibles variations du rapport $^{138}\text{Ce}/^{142}\text{Ce}$ expliquent pourquoi la systématique ^{138}La - ^{138}Ce a été très peu étudiée. Ainsi, la composition isotopique en cérium des réservoirs silicatés, notamment celle de la croûte continentale, n'est pas bien définie. Les mesures développées par spectrométrie de masse à thermo-ionisation (utilisation des amplificateurs $10^{13} \Omega$) ont permis d'augmenter considérablement la précision. Dans le cadre de cette thèse, j'ai ainsi mesuré 135 échantillons de contextes divers représentant les principaux réservoirs silicatés étudiés.

L'analyse de basaltes de rides médio-océaniques et de sédiments éoliens a permis d'obtenir une estimation des compositions isotopiques respectives du manteau supérieur appauvri et de la croûte continentale supérieure. La variabilité isotopique du manteau en Ce-Nd est précisée par les mesures sur des basaltes d'îles et de rides océaniques. Ils forment la tendance mantellique. La comparaison de cette tendance avec les modèles de mélange issus du bilan de masse croûte-manteau pour les REE montre que la complémentarité manteau-croûte est insuffisante pour expliquer la variabilité de composition isotopique du manteau. La tendance mantellique est mieux reproduite lorsque les modèles intègrent la contribution du recyclage ancien de croûte océanique et de sédiments océaniques, formés avant l'oxygénation des océans ($>2 \text{ Ga}$).

Le bilan de masse pour les REE implique également que la croûte continentale moyenne à inférieure présente des compositions isotopiques en Ce-Nd distinctes de la tendance mantellique et de la croûte continentale supérieure. Pour vérifier ce modèle, j'ai analysé des roches continentales d'origine superficielle à profonde, d'âges et de régions différents. Parmi ces roches, les xénolithes de Sibérie ont les compositions isotopiques attendues. Un fractionnement des REE dans la croûte profonde pourrait expliquer le découplage des systématiques ^{138}La - ^{138}Ce et ^{147}Sm - ^{143}Nd .

Les compositions isotopiques en Sr, Nd et Pb, les basaltes d'îles océaniques reflètent l'existence de pôles de composition dans le manteau, produits par le recyclage de matériaux différents. Au sein de la tendance mantellique en Ce-Nd, certains groupes d'échantillons portant les signatures d'un manteau enrichi, correspondant aux pôles EM-1 et EM-2, ont des compositions distinctes. Les échantillons de signature EM-2 restent strictement alignés sur la tendance mantellique et ceux de signature EM-1 en dévient. Les premiers semblent particulièrement bien refléter l'effet du recyclage ancien ($> 2 \text{ Ga}$) de croûte continentale supérieure ou de sédiments océaniques anciens, tandis que les seconds nécessitent en plus le recyclage ancien de croûte océanique, ou de croûte continentale inférieure.

Mots clefs : Terres rares ; ^{138}La - ^{138}Ce ; Terre silicatée ; manteau ; croûte continentale ; différenciation manteau-croûte ; recyclage

**TRACING THE EVOLUTION OF THE SILICATE EARTH BY COUPLING THE
LANTHANUM-CERIUM AND SAMARIUM-NEODYMIUM ISOTOPE SYSTEMATICS –
CLAUDINE ISRAEL**

ABSTRACT

Rare Earth elements (REE) share a similar behavior during magmatic processes. They are refractory, lithophile elements so that they concentrate in the silicate Earth. Among them, we count two long-lived isotope systematics: ^{138}La - ^{138}Ce ($T_{1/2} = 295.5$ Ga) et ^{147}Sm - ^{143}Nd ($T_{1/2} = 106$ Ga). Their coupling provides temporal constraints on the evolution of the silicate reservoirs (mantle – crust). Ce is also known to be a redox sensitive element, able to change its mobility according to the other REEs. During this thesis, my objectives were (1) to better constrain the Ce-Nd isotopic composition of the Earth and its different silicate reservoirs and (2) to investigate the potential of the ^{138}La - ^{138}Ce systematics for tracing the recycling during subduction.

Small variations on $^{138}\text{Ce}/^{142}\text{Ce}$ ratios limit the study of the ^{138}La - ^{138}Ce systematics, so that the Ce isotopic compositions of the silicate reservoirs are poorly constrained, especially for the continental crust. Recent developments on thermo-ionization mass spectrometers (using 10^{13} Ω amplifiers) have improved the precision on the isotope measurements. During the course of this study, I analyzed 135 samples from various contexts to represent the major silicate reservoirs.

The analysis of mid-ocean ridge basalt and aeolian sediments are used to define the isotopic compositions of the depleted mantle and of the upper continental crust, respectively. The isotopic variability of the mantle is estimated on the basis of the measurements of mid-ocean ridges basalts and ocean islands basalts. Their repartition is called the mantle array. The comparison between the mantle array and mixing models resulting from a mantle-crust mass balance budget shows that the mantle-crust complementarity is not sufficient to explain the mantle isotopic variability. The mantle array is best reproduced by including the contribution of the recycling of oceanic crust and oceanic sediments older than 2 Ga, before the Great Oxygenation Event.

The mass balance of the crust also suggests the middle to lower continental crust to show Ce-Nd isotopic compositions distinct from the mantle array and from the upper continental crust. This hypothesis is discussed by analyzing upper to lower continental crust samples, from various terrains and with different ages. Among them, Siberian xenoliths show Ce-Nd isotopic composition is in agreement with models. The fractionation of REE in the lower crust should be able to decouple the ^{138}La - ^{138}Ce and ^{147}Sm - ^{143}Nd systems.

The distinct Sr-Nd-Pb isotopic compositions of oceanic island basalts are produced by the recycling of various surface material into the mantle. Ce-Nd isotopic compositions measured in samples, which isotopic signature is characteristic of the enrich mantle endmembers EM-1 and EM-2, show distinct compositions. EM-2-type samples plot on the mantle array and EM-1-type samples deviate from it. The formers can be reproduced by the recycling of upper continental crust or oceanic sediments older than 2 Ga while the latter need the addition of ancient oceanic crust or lower continental crust.

Keywords: Rare Earth elements ; ^{138}La - ^{138}Ce ; silicate Earth ; mantle ; continental crust ; mantle-crust differentiation ; recycling