

Henri BOUGAULT (a), Laure DOSSO (b)
et Jean-Louis JORON (c)

a. Laboratoire Géosciences marines, IFREMER/Brest

b. Groupement de recherche Genèse et évolution des domaines océaniques,
CNRS, UBO, ORSTOM, BRGM, IFREMER/Brest

c. Laboratoire Pierre Sûre (groupe des sciences de la Terre),
CNRS/Saclay, IFREMER/Brest



DORSALES MÉDIO- OCÉANIQUES : DES FENÊTRES OUVERTES SUR LE MANTEAU TERRESTRE...

Ce dossier retrace une enquête chimique passionnante qui révèle comment la connaissance de l'évolution de notre planète passe par une descente dans les dorsales médio-océaniques, au cœur même des laves basaltiques qui s'y créent, à la recherche d'indices infimes mais révélateurs.

domaines les uns des autres créant ainsi au cours du temps une structure du manteau complexe, chaque cellule ayant subi l'action de processus intramantelliques à des époques différentes, dans des conditions différentes.

À la surface de la Terre, la croûte terrestre résulte de la différenciation du manteau. La croûte océanique basaltique, de quelques kilomètres d'épaisseur environ, recouvre les deux tiers de la surface du globe. Elle se forme à l'axe des dorsales médio-océaniques par fusion du manteau supérieur et retourne dans le manteau par subduction : la subduction de la lithosphère océanique (entité rigide du manteau supérieur d'une centaine de kilomètres d'épaisseur sur laquelle repose la croûte océanique) s'accompagne de la formation des grandes

Moins 4,5 milliards d'années : la Terre se forme par accrétion de matériel du système solaire. Certains types de météorites (chondrites) témoignent de ce matériel initial. Ces météorites contiennent une phase métallique (principalement fer-nickel) et une phase silicatée. Au cours de la formation de la Terre et des quelques

centaines de millions d'années qui ont suivi, la phase métallique de haute densité (Fer, Nickel) et la phase silicatée se sont séparées pour former le noyau et le manteau terrestre. Des cellules de convection se sont mises en place dans le noyau métallique et dans le manteau silicaté. Dans le manteau, ces cellules isolent des

fosses océaniques. L'âge maximum de la croûte océanique atteint environ 300 millions d'années. La croûte continentale d'une épaisseur d'environ 30 km, partie supérieure d'une lithosphère continentale plus épaisse que la lithosphère océanique, provient d'une accumulation de produits de différenciation complexes, évolués, "légers". On y trouve les roches les plus vieilles : 3,5 milliards d'années.

Le système Dorsale médio-océanique parcourt le globe sur plus de 60000 kilomètres. Les dorsales médio-océaniques (Atlantique, Est-Pacifique, Centrale-Indienne, Sud-Est Indienne, Sud-Ouest Indienne, Antarctique...) ouvrent de véritables fenêtres sur le manteau.

Les laves formées à l'axe des dorsales médio-océaniques transmettent-elles un message relatif à l'évolution du globe ? Grâce quelle mémoire chimique ? Quels sont les outils à utiliser pour la déchiffrer ? Les études concernant ces questions constituent l'un des grands thèmes du programme international InterRidge (International Ridge Inter-Disciplinary Global Experiment).

Une enquête minutieuse à l'échelle des atomes

Pour décrire une propriété du manteau à partir de l'étude des basaltes océaniques, les premiers paramètres utilisés ont été les rapports isotopiques "radiogéniques" (1) d'éléments lourds présents à l'état de traces dans les basaltes océaniques. Les rapports isotopiques d'éléments lourds ne sont pas modifiés (fractionnés) au cours de la genèse d'un liquide basaltique à partir de sa source dans le manteau. Le rapport isotopique radiogénique d'un élément lourd (strontium, néodyme, plomb...) mesuré dans un basalte correspond donc au rapport isotopique du manteau dont il est

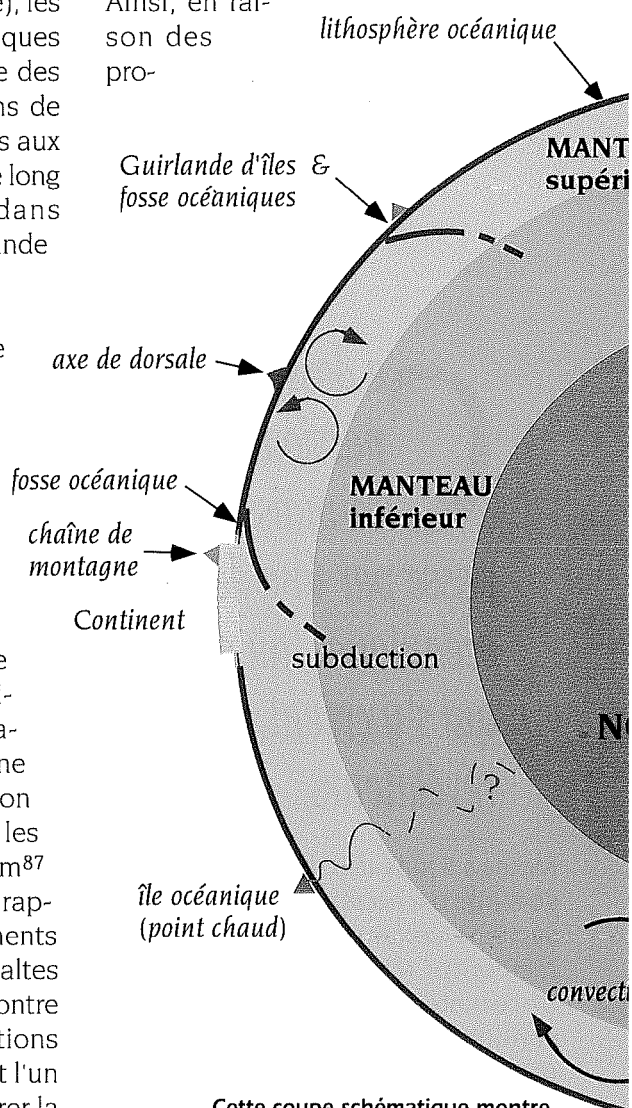
issu. Au cours des années soixante, les mesures des rapports isotopiques radiogéniques du strontium et du plomb ont montré des valeurs très différentes entre basaltes océaniques et roches continentales. Les rapports isotopiques des basaltes d'îles océaniques se sont également révélés différents de ceux des basaltes de dorsales médio-océaniques. Ces différences importantes entre îles et dorsales océaniques démontrent l'hétérogénéité des sources du manteau responsables de la formation des îles d'une part et du plancher océanique d'autre part.

Les techniques de mesures s'améliorant (mise au point de la mesure du rapport isotopique du Néodyme), les variations des rapports isotopiques ont été décrites le long de l'axe des dorsales. Très vite les variations de ces rapports sont apparues liées aux grandes structures observables le long de l'axe d'une dorsale (dans l'Atlantique, le domaine de l'Islande et des Açores).

Parallèlement, les rapports de concentrations de certains éléments dans les basaltes océaniques, en particulier les terres rares (2), ont montré des variations similaires à celles des rapports isotopiques. Ces éléments sont ceux qui, au cours des équilibres minéraux - liquides silicatés, présentent une grande affinité pour le liquide silicaté (éléments hygromagmaphiles). Il existe effectivement une corrélation entre la segmentation de la dorsale médio-atlantique, les rapports isotopiques strontium⁸⁷/strontium⁸⁶ (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) et les rapports de concentrations d'éléments hygromagmaphiles dans les basaltes (voir figure). Cette corrélation montre que les rapports de concentrations de certains éléments constituent l'un des outils à utiliser pour déchiffrer la mémoire de l'évolution du manteau

terrestre. Depuis cette étape importante, les efforts portent sur l'identification des éléments capables de tracer les domaines du manteau ou ayant enregistré, à des degrés divers, les processus ayant affecté les propriétés du manteau au cours de son histoire. On trouve en effet parmi les éléments hygromagmaphiles des éléments aussi différents que potassium, lanthane ou niobium. En fonction de leurs propriétés chimiques, les rapports de concentrations de certains de ces éléments peuvent demeurer complètement insensibles aux processus ayant affecté le manteau. D'autres rapports peuvent au contraire enregistrer d'une manière sélective certains processus.

Ainsi, en raison des pro-



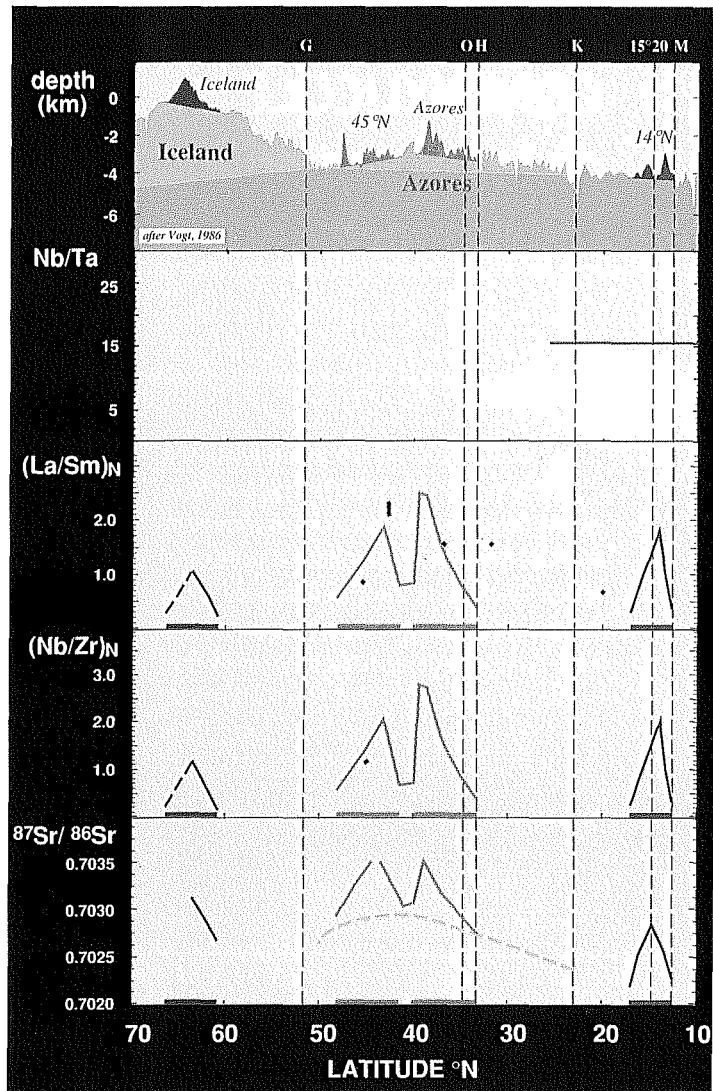
Cette coupe schématique montre les relations qui existent entre les grandes structures de la surface du globe et les mécanismes impliquant le manteau terrestre. La croûte océanique est formée à

propriétés physico-chimiques très voisines du niobium (Nb) et du tantale (Ta), le rapport Nb/Ta demeure constant dans tous les basaltes océaniques, dorsales et îles, en dépit d'une variation de deux à trois ordres de grandeur de leurs concentrations. Ces deux éléments ont suivi exactement le même comportement - "ils n'ont pas fractionné" - au cours de l'histoire de l'évolution chimique de la Terre. Ce rapport Nb/Ta (16,1) semble être caractéristique de la Terre et représente probablement la valeur du rapport dans le système solaire. Une étude de météorites chondritiques, supposées représenter la composition moyenne de la Terre initiale, est e

cours. Par contre, d'autres rapports tels thorium/tantale (Th/Ta) ou lanthane / tantale (La/Ta) (ou lanthane/niobium, La/Nb) des roches volcaniques associées au phénomène de subduction enregistrent spécifiquement le phénomène de subduction. Le niobium et le tantale se trouvent en effet piégés dans les minéraux hydroxylés qui se forment dans ce contexte (présence d'eau dans la lithosphère océanique et les sédiments qui subduisent). Entre l'in-

variabilité du rapport Nb/Ta et la sensibilité du rapport La/Ta (ou La/Nb), les efforts portent sur la recherche de couples d'éléments susceptibles d'enregistrer un nombre, nécessairement limité, de processus (connus ou inconnus). Ainsi, par recoupement et en liaison avec les variations des rapports isotopiques qui intègrent la dimension temps, espère-t-on identifier différentes étapes de l'évolution du globe.

De leur côté les géophysiciens mettent en évidence des anomalies du géoïde et des anomalies de champ de gravité (à partir de mesures satellitaires) interprétées en termes d'hétérogénéité de propriétés physiques du manteau. De la confrontation des données géophysiques et de données chimiques, on espère comprendre les relations qui existent entre domaines du manteau, cellules de convection et anomalies morphologiques telles que celles de l'Islande, des Açores ou de 14°N. ■



En haut, la variation de la profondeur à l'axe de la dorsale médio-atlantique, entre l'Islande et 10°N, montre trois grandes structures : l'Islande, le domaine des Açores et 14°N. Les propriétés chimiques des laves sont corrélées à ces structures majeures.

Notes

1 : deux isotopes d'un même élément ne diffèrent que par leur nombre de neutrons. Ils possèdent des propriétés chimiques quasi identiques. Un isotope radiogénique (ex : ⁸⁷Sr) provient de la désintégration radioactive d'un élément père (ex : ⁸⁷Rb). Le rapport radiogénique d'un matériau naturel (ex : ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, ⁸⁶Sr étant un isotope naturel) est fonction des événements qui ont modifié les rapports de concentrations entre l'élément "père" - le rubidium ⁸⁷- et l'élément "fils" - le strontium ⁸⁷- et des temps de désintégration jusqu'aujourd'hui.

2 : terres rares (ou lanthanides). Série de quatorze éléments, dont les propriétés chimiques sont très voisines, parmi lesquels se trouvent le lanthane et le samarium.

guirlande d'îles océaniques associées au phénomène de subduction

dorsale médio-océanique

marge active

chaîne de montagne CONTINENT

point chaud

l'axe des dorsales médio-océaniques. Les guirlandes d'îles et les chaînes de montagne sont associées au phénomène de subduction.