



L'ISLANDE, UN POINT CHAUD PARTICULIER

Christophe Hémond

UMR 6538 UBO-CNRS Domaines océaniques, IUEM, Place Copernic, 29280 Plouzané, chmond@univ-brest.fr

Abstract

Le point chaud islandais est particulier en ce qu'il interagit avec la dorsale médio-atlantique et que nous possédons 15 Ma d'enregistrement continu de son activité. La persistance et les variations de l'abondance du magmatisme ont permis d'évaluer pour la première fois les échanges et interactions entre zones de fusion et le régime de la fusion partielle. La genèse d'une épaisse croûte et son rôle dans le magmatisme différencié ont aussi été expliqués.

Introduction

Le point chaud islandais est le cas particulier d'un panache situé sous une dorsale, la ride médio-atlantique nord. Il a été l'objet d'études très nombreuses parce qu'il est une partie émergée de la dorsale et de ce fait, très accessible. Il résulte des observations que l'Islande offre 15Ma d'années d'activité et d'interactions à l'affleurement, cas unique sur Terre. Son activité a fait l'objet d'études spatiales décrivant les effets de l'interaction ou la variabilité de composition dans l'espace comme d'études temporelles par l'analyse de longues coupes de l'activité passée entre 15 et 2Ma dans les régions du nord-ouest ou de l'est.

Le point chaud

Le premier résultat de l'activité du point chaud islandais est la construction d'un vaste plateau océanique induit la production d'une croûte océanique anormalement épaisse. L'épaisseur totale des roches volcaniques (de 8 à 16km) est beaucoup plus grande que celle d'une croûte océanique normale (6km en moyenne) et reflète certainement l'influence de l'anomalie thermique résultant de la présence du point chaud. L'existence de picrites, des tholéiites très magnésiennes, corrobore cette observation. De façon générale, les laves islandaises sont chimiquement anormales comparées à des MORBs. Des concentrations plus élevées en éléments en traces incompatibles et les compositions isotopiques en Sr et Nd hétérogènes ont été signalées dans de nombreux travaux.

Deux types de modèles ont été rapidement proposés pour expliquer les données chimiques. Le premier nécessite l'existence d'hétérogénéités dans le manteau : les laves enrichies provenant d'une source enrichie dans le panache, les laves appauvries d'un autre composant du panache ou du manteau supérieur, source des MORBs appauvris de l'Atlantique nord. Le deuxième considère un manteau source homogène dont sont issus les magmas qui interagissent lors de leur remontée vers la surface avec la croûte islandaise ancienne et hydrothermalement altérée. La justification pour ce deuxième type venait essentiellement de l'existence de valeurs inhabituellement basses des compositions isotopiques d'oxygène. La seule source d'oxygène pauvre en isotope léger réside dans les eaux météoriques qui circulent abondamment dans la croûte entraînant son altération. Notons aussi que la croûte islandaise est chimiquement enrichie du fait de l'abondance des produits différenciés émis par les stratovolcans centraux en Islande. Ce modèle permettait d'éliminer la nécessité d'un composant enrichi dans le manteau. L'origine des roches différenciées et de leur abondance en Islande a fait l'objet de plusieurs études dont certaines par les déséquilibres radioactifs sur les volcans dits centraux (Hekla, Askja, Krafla) et il en ressort que les processus AFC (Assimilation-Fractional Crystallization) dominent cette production (Nicholson et al. 1991; Sigmarsson et al. 1991).

Les co-variations des compositions isotopiques de Sr, Nd et Pb observées ont mené à proposer un modèle de manteau hétérogène sous l'Islande, contenant un composant géochimiquement appauvri et un autre, enrichi. Il restait à déterminer l'origine de ces composants et s'il semblait admis que le composant enrichi dérivait directement du panache de manteau profond, la source du composant appauvri n'était pas claire bien qu'on ait suggéré une origine dans le manteau supérieur. Il se posait néanmoins le problème de l'absence de corrélation entre les données isotopiques d'hélium et des gaz rares en général et celles des isotopes de Sr et Nd. Les données acquises sur des



échantillons provenant des deux dorsales s'éloignant de l'Islande, ride de Reykjanes au sud-ouest et de Kolbeinsey au nord montraient un gradient de compositions isotopiques qui semblait indiquer que même le composant appauvri en Islande n'était pas identique à celui reconnu dans l'Atlantique nord, ou bien qu'il était contaminé par le point chaud. De nouvelles données de plomb et d'éléments en traces sur des échantillons auparavant déjà très bien documentés, ont mené à proposer que le volcanisme islandais est essentiellement dominé par le magmatisme du point chaud, lui-même issu d'un panache hétérogène. Il contiendrait lui-même les deux composants, enrichi et appauvri dont l'origine est à rechercher dans le recyclage d'une section complète de croûte océanique. Cette croûte recyclée qui se trouve aujourd'hui dans le faciès éclogite, domine largement le bilan des éléments en traces incompatibles et des compositions isotopiques. La partie basaltique influencerait les laves à affinité alcaline, plus radiogéniques, alors que l'influence des gabbros serait visible dans les picrites et tholéiites à olivine à anomalie positive en Sr. Le magmatisme interagit avec celui des dorsales voisines représenté par un MORB moyen de l'Atlantique Nord mais les « trends » de mélange sont distincts car c'est le composant islandais, celui issu du panache, qui est différent dans les deux cas : il est plus appauvri au nord près de la ride de Kolbeinsey qu'au sud-ouest près de celle de Reykjanes.

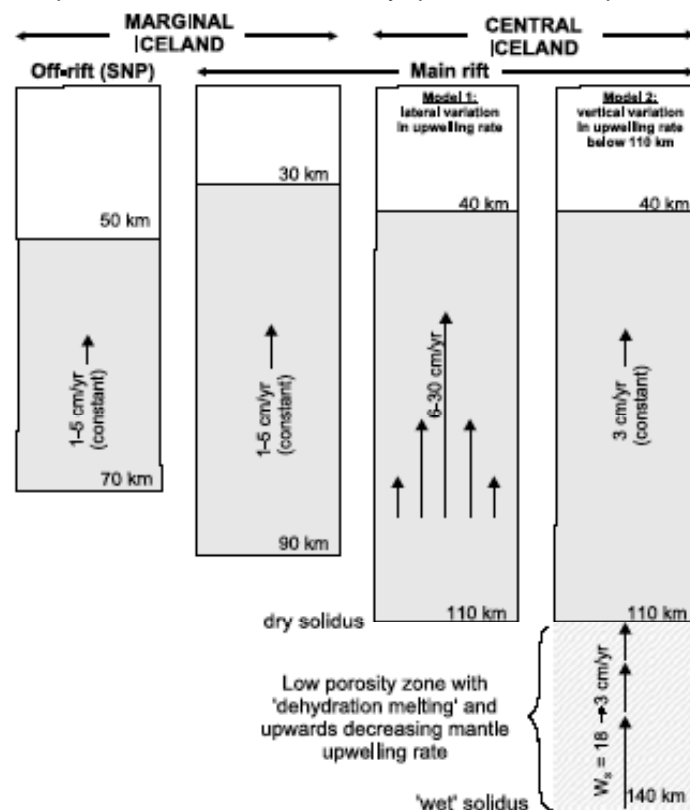


Fig.1: Longueur de la colonne de fusion et vitesse de remontée du manteau dans le modèle de fusion dynamique sous les zones magmatiques actives centrale et périphérique d'Islande d'après Kokfelt et al. (2003)

De nouvelles mesures isotopiques de Th à l'échelle de l'Islande (Kokfelt et al. 2003, après les travaux de Hémond et al. 1988) montrent que les excès de ^{230}Th sont moins forts à proximité de la zone centrale d'influence du panache. Ils sont interprétés en termes de vitesse de remontée du manteau solide (mantle upwelling) sous cette région : le matériel plus chaud au centre du panache et donc plus léger remonte plus rapidement que dans la périphérie du panache. Ce dernier réside alors moins longtemps dans une colonne de fusion montante. Il en résulte un temps de percolation entre liquide et solide moins que dans les zones périphériques. Cette rapidité d'ascension permet aux liquides de subir des fractionnements entre Th et U plus faibles puisque la colonne et la durée de percolation sont plus courtes. On peut en déduire que les fractionnements les plus faibles sont visibles au centre du point chaud plutôt qu'à la périphérie et qu'une vitesse de remontée rapide limite leur intensité. Ceci est confirmé par ailleurs, par la faiblesse des fractionnements ^{230}Th - ^{238}U dans les laves d'Hawaï, le point chaud le plus chaud à la vitesse de remontée la plus rapide.



Parallèlement, Hanan et Schilling (1997), Fitton et al. 2002) et Kitagawa et al. (2008) ont étudié l'activité du point chaud islandais au cours des 15 derniers millions d'années grâce à l'analyse d'éléments en traces ou à des mesures précises des compositions isotopiques du Pb et au développement des mesures de compositions isotopiques du Hf. Ils ont mis en évidence une variation d'activité du point chaud avec un maximum de magmatisme vers 13-12 et 8-7 millions d'années. La notion de point chaud variable au cours du temps s'est ainsi trouvée confirmée. Il ressort des analyses de traces et isotopiques que le magmatisme plus abondant est lié à une contribution plus grande du composant enrichi du panache qui, cependant, diffère légèrement entre les deux épisodes (Kitagawa et al. 2008). Fitton et al. (2002) soulignent que la contribution relative des différents composants du manteau est liée à la position de ce magmatisme par rapport à la dorsale, à l'axe ou hors axe et donc au degré de fusion partielle. Ainsi des magmas issus de faibles taux de fusion hors axe dériveront d'abord des composants enrichis et plus fusibles du manteau alors qu'une fusion plus intense sous l'axe produit des magmas plus proches en composition de la composition globale du panache. Les coulées de faible volume et appauvries représentent des liquides qui dérivent préférentiellement un composant appauvri et plus réfractaire du panache. L'existence de ce composant appauvri spécifique fait débat encore de nos jours. Hanan et Schilling (1997) contestent son existence et considèrent le manteau supérieur ambiant source des MORB comme tel. A la suite de Hémond et al. (1993), Thirlwall (1995) grâce à des données isotopiques de Pb, Kerr et al. (1995); Fitton et al. (1997) soutiennent la nécessité d'un composant appauvri intrinsèque distinct du manteau supérieur source des MORB. Hanan et al. (2000) ont tenté de réfuter le modèle de composant appauvri spécifique en se basant sur de nouvelles analyses de Hf et de traces. Ces conclusions ont été contredites par Fitton et al. (2002). Kitagawa et al. (2008) soulignent à leur tour dans leur étude du magmatisme des derniers 15 Ma qu'entre les périodes de forte activité, c'est le composant appauvri islandais qui alimente un magmatisme moins intense.

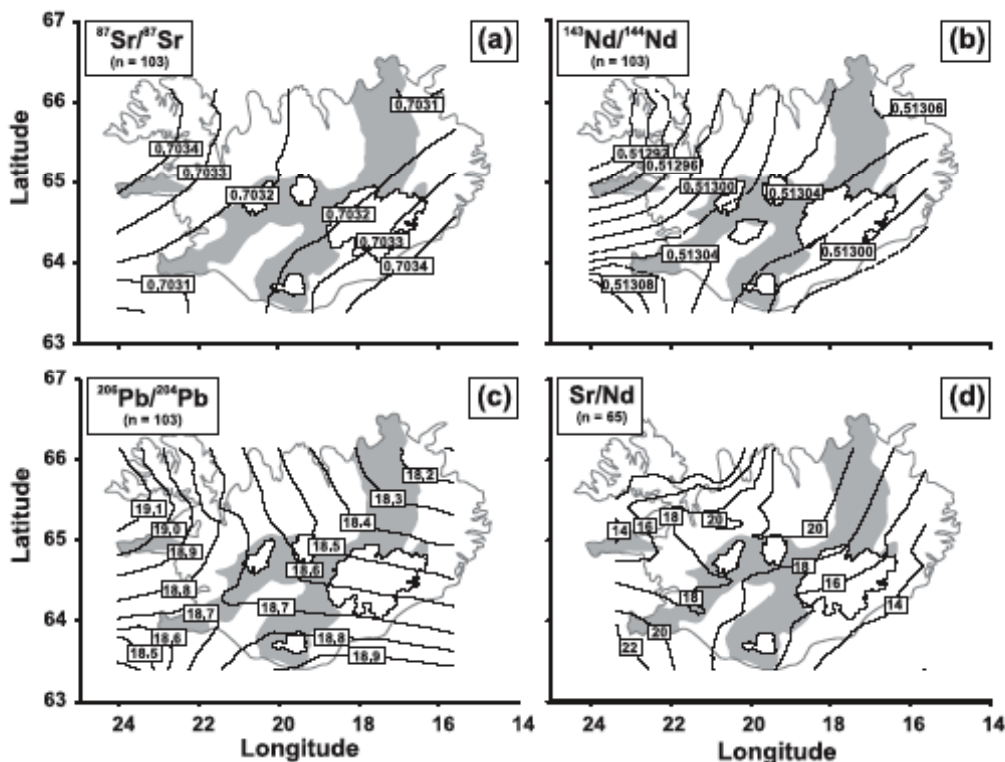


Fig.2: Cartographie isotopique du point chaud islandais d'après Kokfelt et al. (2006)

L'augmentation sensible du nombre d'analyses de qualité depuis une dizaine d'années a permis des analyses en composantes principales (Hanan et al. 1997, Malfère et al. 2002, et Kitagawa et al. 2008). Hanan et Schilling (1997) suggèrent un modèle à trois composants. Le premier est enrichi et contenu dans le panache, le deuxième est appauvri et peut être celui présent de façon régionale dans l'Atlantique nord. Le troisième est plus inhabituel car de composition type EM1, il serait de la lithosphère sous-continentale entraînée dans le manteau. Comme mentionné plus haut, cela est fortement contesté par Fitton et al. (2002). Les données isotopiques les plus récentes en traces et en



isotope des Sr, Pb, Nd et Hf (Malfère et al. 2002) sur 120 laves islandaises de moins de 700ka constituent le travail le plus abouti. Le grand nombre d'analyses sur des laves récentes permet une véritable étude statistique des différents composants présents dans le manteau source. Ils ont montré que les processus magmatiques de types cristallisation fractionnée et contamination crustale étaient marginaux sur les laves produites par des éruptions fissurales. Les hétérogénéités du panache islandais sont la source première de la variabilité des compositions et différents mélanges créent la diversité isotopique observée.

Les constituants sont de type manteau enrichi EM1 et EM2 et C plus les basaltes et les gabbros d'une section de croûte recyclée. Plus que la présence du manteau supérieur de type MORB dans la source sous l'Islande, c'est plutôt le panache islandais qui envahit la source des dorsales voisines comme suggéré par Chauvel et Hémond (2000). Comme mentionné aussi par Kokfelt et al (2006), l'analyse en composantes principales des six rift zones révèle que le panache est hétérogène géographiquement : Le composant EM1 est plutôt bien identifiable dans le nord est, la signature EM2 dans le sud-est et centre-est et le composant C mélangé à la signature des basaltes recyclés dans les basaltes alcalins du sud de la rift zone sud-est. L'influence des gabbros recyclés est visible dans la zone nord est de Theistareykir mais aussi, de façon moindre dans les basaltes du centre et du sud ouest. Les âges U-Th-Pb et Sm-Nd indiquent une origine archéenne pour le matériel océanique recyclé.

Les processus crustaux ne sont en revanche pas négligeables sous les stratovolcans. Ceux ci possèdent des chambres magmatiques complexes installées dans la croûte dans lesquelles les processus de contamination ou de type AFC surviennent. De nombreuses études ont eu lieu dont celle réalisées par Sigmarsson et al. (1991) sur des laves primaires et différenciées des volcans centraux Hekla (sud) et Askja (centre-est) ou Nicholson et al. (1991) sur le Krafla (nord-est). Cette étude a permis de répondre à la question en combinant les isotopes du Th, sensibles à la durée des processus, de l'oxygène sensibles aux interactions de basse température avec les eaux météoriques et de Sr et Nd, systèmes nous apportant l'information de type manteau. Bien que les compositions isotopiques de Sr et de Nd fussent quasi identiques pour tous les échantillons d'Hekla, les compositions de Th variaient et démontraient que les roches acides ne pouvaient dériver de magmas primitifs simplement par cristallisation fractionnée. Des résultats comparables furent obtenus sur les deux autres volcans où les compositions d'O sont beaucoup plus basses dans les magmas siliceux que dans les magmas basiques. Ces données suggéraient donc un modèle dans lequel de grands volumes de roches différenciées sont produits sous les volcans centraux des zones néovolcaniques d'Islande par refusion partielle de la croûte sous-jacente préalablement altérée par les eaux météoriques. Nicholson et al. (1991) ont confirmé ce modèle par un étude exhaustive du volcan Krafla.

References

- Chauvel C. and Ch. Hémond, 2000, Melting of a complete section of recycled oceanic crust: Trace element and Pb isotopic evidence from Iceland, *G³*, 1.
- Fitton J.G., A.D. Saunders, M.J. Norry, B.S. Hardarson, R.N. Taylor, 1997, Thermal and chemical structure of the Iceland plume, *Earth Planet. Sci. Lett.* 153, 197-208.
- Hanan B.B. & J.-G. Schilling, 1997, The dynamic evolution of Iceland mantle plume: the lead isotope perspective. *Earth Planet. Sci. Lett.* 151, 43-60.
- Hanan B.B., J. Blichert-Toft, R. Kingsley & J.-G. Schilling, 2000, Depleted Iceland mantle plume geochemical signature: artifact or multicomponent mixing? *G³*, 1, 1999GC000009.
- Hards V. L., P. D. Kempton and R. N. Thompson, 1995, The heterogeneous Iceland plume: new insights from the alkaline basalts of the Snaefell volcanic centre, *J. Geol. Soc. London* 1995; v. 152; p. 1003-1009
- Hémond Ch., M. Condomines, S. Fourcade, C.J. Allègre, N. Oskarsson and M. Javoy, 1988, Thorium, Strontium and oxygen isotopic geochemistry in recent tholeiites from Iceland: crustal influence on mantle-derived magmas, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 87, 273-285.
- Hémond Ch., N.T. Arndt, U. Lichtenstein, A.W. Hofmann, N. Oskarsson and S. Steinthorsson, 1993, The Heterogeneous Iceland Plume: Nd-Sr-O Isotopes and Trace element constraints, *J. Geophys. Res.* 98-B9, 15833-15850.
- Kempton P.D., J.G. Fitton, A.D. Saunders, G.M. Nowell, R.N. Taylor, B.S. Hardarson & G. Pearson, 2000, The Iceland plume in space and time: a Sr-Nd-Pb-Hf study of the North Atlantic rifted margin. *Earth Planet. Sci. Lett.* 177, 255-271.



- Kerr A.C., A.D. Saunders, J. Tarney. & N.H. Berry, 1995, Depleted mantle-plume geochemical signatures: no paradox for plume theories. *Geology* 23, 843–846.
- Malfère J.-L. 2002 Etude des variations géochimiques le long des zones néovolcaniques de l'Islande. Thèse de l'université de Genève.
- Nicholson H., M. Condomines, J.G. Fitton, A.E. Fallick, K. Grönvold & G. Rogers, 1991, Geochemical and isotopic evidence for crustal assimilation beneath Krafla, Iceland. *J. Petrol.* 32, 1005–1020.
- Sigmarsson S., Ch. Hémond, M. Condomines, S. Fourcade and N. Oskarsson, 1991, Origin of silicic magma in Iceland revealed by Th isotopes, *Geology*, 19, 621-624.
- Thirlwall, M.F. 1994, Generation of the Pb isotopic characteristics of the Iceland plume, *J. Geol. Soc. London* 152, 991-996.
- J. G. Fitton, A. D., Saunders, P. D. Kempton, & B. S. Hardason, 2003, Does depleted mantle form an intrinsic part of the Iceland plume? *G³*, 4, 2002GC000424.
- T.F. Kokfelt, K. Hoernle & F. Hauff, 2003, Upwelling and melting of the Iceland plume from radial variation of ²³⁸U–²³⁰Th disequilibria in postglacial volcanic rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.* 213, 167–186.
- T. F. Kokfelt, K. Hoernle, F. Hauff, J. Fiebig, R. Werner, D. Garbe-Schoenberg, 2006, Combined trace element and Pb-Sr-Nd-O isotope evidence for recycled oceanic (upper and lower) crust in the Icelandic plume, *J. Petrol.* 47-9, 1705-1749.
- H. Kitagawa, K. Kobayashi, A. M. & E. Nakamura, 2008, Multiple Pulses of the Mantle Plume: Evidence from Tertiary Icelandic Lavas, *Journal of the Geological Society* 1995; v. 152; p. 1003-1009