

Convection thermo-solutale dans les océans de magma

Sujet de M2/Thèse proposé par Stéphane Labrosse,
Laboratoire de géologie de Lyon, ENS de Lyon, stephane.labrosse@ens-lyon.fr

La formation des planètes telluriques (Terre, Vénus, Mars, Mercure) s'est terminée par une phase d'impacts géants entre des embryons planétaires. Dans le cas de la Terre, le dernier de ces impacts géants est généralement supposé comme étant à l'origine de la formation de la Lune. L'énergie cinétique colossale impliquée par ces impacts est de nature à faire fondre et même vaporiser une partie importante des planètes et leur évolution thermique ultérieure commence par la condensation puis la cristallisation de la partie silicatée de la planète pour former son manteau, solide actuellement. La Terre silicatée traverse donc une période où elle est principalement liquide et forme ce qu'on appelle un océan de magma. La dynamique, l'évolution thermique et la cristallisation de cet océan de magma sont à l'origine d'événements précoces de différenciation du manteau et contrôlent la condition initiale de sa convection à l'état solide. Depuis quelques années, des traces de ces événements ont été découvertes sous forme d'anomalies isotopiques infimes mesurées dans certaines roches. Les modèles développés jusqu'à présent pour la dynamique et l'évolution de ces océans de magma sont extrêmement rudimentaires, essentiellement basés sur des lois d'échelle dont l'applicabilité au problème n'est aucunement démontrée. En particulier, tous ces modèles font l'hypothèse que les océans de magma sont toujours bien mélangés par la convection dans un régime turbulent, convection produite par le refroidissement intense à la surface. Cependant, la cristallisation des composés complexes que sont les silicates du manteau conduit généralement à des variations de composition (cristallisation fractionnée) de sorte que le solide formé a une concentration plus faible en FeO que le liquide, lui même devenant ainsi plus riche et donc plus dense. La cristallisation du bas vers le haut de l'océan de magma (du fait de la forte pente du liquidus avec la pression) produit donc une densification progressive de la base de l'océan de magma, ce qui peut conduire au développement d'une couche stratifiée stable (Labrosse, Hernlund, and Hirose, 2015). L'objectif de ce projet est d'explorer les différents régimes possibles de convection thermo-solutale dans une coquille sphérique en rotation rapide en fonction de l'importance relative du flux thermique déstabilisant au sommet et du flux compositionnel stabilisant à la base et de considérer leur couplage par la thermodynamique liée à la cristallisation à la base. Ceci permettra d'obtenir de nouvelles lois d'échelle pour la structure et l'évolution des océans de magma et de réviser notre compréhension des premiers âges de la Terre.

Pour mener cette étude, nous utiliserons le code de convection thermo-solutale développé par Mathieu Bouffard durant sa thèse (soutenance le 20 septembre 2017). Ce code a initialement été écrit pour des applications à la dynamique des noyaux planétaires et a été validé (Bouffard et al., 2017) (fig. 1). Des premiers essais d'application du code à ce problème d'océan de magma ont donné des résultats très encourageants, montrant effectivement le développement d'une couche stratifiée en base du modèle.

Ce projet est tout à fait adapté pour un stage de M2 et/ou une thèse. Il comporte un première phase de prise en main du code et de petits développements, suivie d'une part importante d'exploration de l'espace des paramètres pour des applications aux océans de magma.

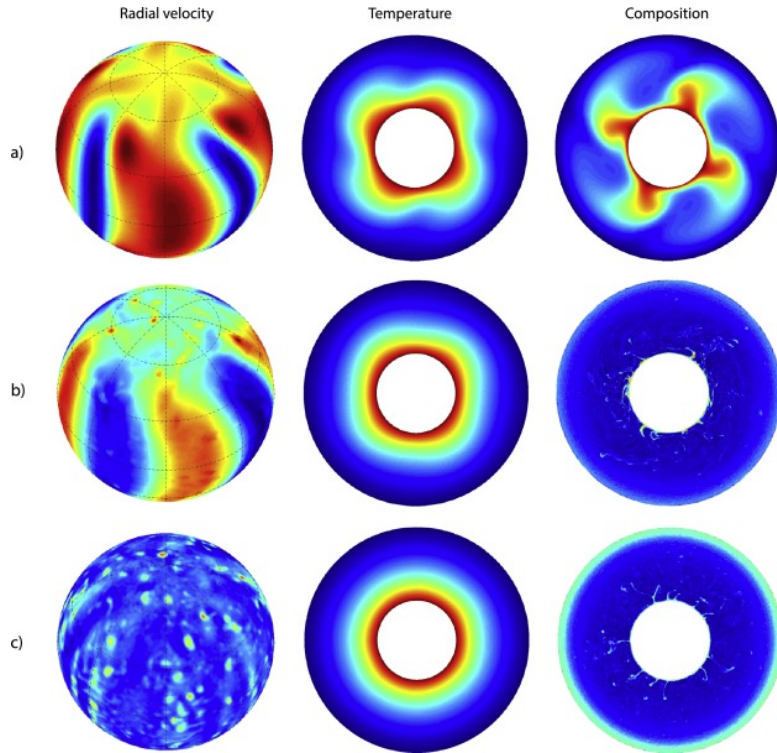


Figure 1: Champs de vitesse radiale, température, et composition dans un modèle de convection thermo-solutale dans une coquille sphérique en rotation. Chaque ligne est pour des valeurs différentes des paramètres d’entrée. Le cas (c), négligeant totalement la diffusivité chimique est forcé à 80% par le flux d’éléments légers fournis à la base. On voit le développement d’une couche stratifiée au sommet du domaine. Voir Bouffard et al. (2017) pour les détails.

References

- Bouffard, M., S. Labrosse, G. Choblet, A. Fournier, J. Aubert, and P. J. Tackley (2017). A particle-in-cell method for studying double-diffusive convection in the liquid layers of planetary interiors. *J. Comput. Phys.* **346**, 552–571.
- Labrosse, S., J. W. Hernlund, and K. Hirose (2015). “Fractional melting and freezing in the deep mantle and implications for the formation of a basal magma ocean”. *The Early Earth: Accretion and Differentiation*. Ed. by J. Badro and M. J. Walter. Vol. 212. AGU Geophysical Monograph. Wiley, pp. 123–142.