



Sujet proposé pour un début de contrat en octobre 2018

TITRE du SUJET : Modélisation analogique du refroidissement des océans magmatiques partiellement cristallisés : application à l'évolution thermique des planètes telluriques

Directeur :

KAMINSKI Édouard, Pr, kaminski@ipg.fr

Co-directeur :

TAIT Steve, Physicien, tait@ipgp.fr

Equipe d'accueil :

IPGP- Équipe de Dynamique des fluides géologiques – UMR7154

Financement :

Contrat doctoral avec ou sans mission d'enseignement

*Plus de renseignement voir : <http://ed560.ipgp.fr>, Rubrique : Offres_de_thèse
Il est indispensable de faire acte de candidature sur le site de l'Ecole doctorale*

Développement du Sujet :

La fin de l'accrétion qui mène des planétésimaux aux planètes telluriques se produit sous la forme de collisions multiples, et en particulier d'impacts géants du type de celui qui a donné naissance à la Lune. L'augmentation des températures induite par ce bombardement intense se traduit par une fusion probablement presque totale du manteau des planètes concernées. La surface des planètes est alors recouverte d'un océan magmatique atteignant plusieurs centaines à milliers de kilomètres de profondeur. C'est la dynamique de cet océan qui en retour va déterminer les débuts de l'histoire thermique de la planète, dans une période encore mal connue qui s'étend jusqu'à la cristallisation de l'océan et l'apparition de la convection dans le manteau solide. C'est en particulier l'état thermique et la structure en densité de l'océan magmatique cristallisé qui va contrôler les caractéristiques de la convection dans le manteau solide, comme les possibilités d'un renversement brutal ou encore l'apparition éventuelle d'une tectonique des plaques. C'est également pendant cette période que vont se produire un ensemble de phénomènes particulièrement importants pour l'évolution planétaire, tels que la formation de l'atmosphère, la formation d'un noyau liquide stratifié, ou la préservation d'un océan magmatique profond. Pour dépasser les limites des modèles physiques actuels de l'évolution thermique des planètes essentiellement focalisés sur la convection à l'état solide dans le manteau, il est donc nécessaire de s'attaquer à la modélisation de l'océan magmatique.

L'évolution thermique des océans magmatiques est un sujet extrêmement vaste qui va bien au delà des possibilités actuelles d'études numériques ou expérimentales en raison des valeurs extrêmes des nombres sans dimension du système, donc en particulier le nombre de Reynolds. La stratégie du projet de thèse est de s'intéresser à la dernière phase de l'évolution de l'océan magmatique, correspondant à sa cristallisation progressive. La présence des cristaux augmente en effet fortement la viscosité du système ce qui nous permettra de proposer une étude analogique de la convection. Nous utiliserons des fluides visqueux contenant d'importantes quantités de "cristaux" modélisés par des particules de plastique avec une densité proche du liquide convectif. Nous étudierons la convection dans ce milieu en utilisant un dispositif expérimental unique en laboratoire permettant de reproduire le chauffage interne présent dans un océan magmatique. En fonction des nombres sans dimension du problème, de la concentration en cristaux et des taux de chauffage interne, nous déterminerons les différents régimes de convection et leur implication pour la structure thermique et en densité atteint par l'océan magmatique à la fin de sa cristallisation. Ces résultats seront appliqués, d'une part, au cas de la Terre, et, d'autre part, au cas de Mars, dans le cadre de l'exploitation des nouvelles données qui seront apportées dès 2019 par la mission SEIS/Insight de sondage interne de la planète.

La thèse s'inscrit à la suite de récents développements expérimentaux dans le laboratoire de Dynamique des fluides géologiques de l'IPGP qui se sont traduits par la construction d'un dispositif unique autour d'un micro-onde modifié pour permettre d'étudier la convection dans un fluide contenant des sources de chaleur interne. Le dispositif sera appliqué au cas de la convection dans un liquide partiellement cristallisé dans le cadre de la thèse. L'objectif sera de mieux comprendre l'évolution thermique primitive de la Terre, mais également celle de Mars à l'occasion du lancement au printemps 2018 de la mission SEIS/Insight associant la NASA et le CNES. Prévus pour arriver sur Mars en novembre 2018, cette mission de sondage géophysique permettra pour la première fois de déterminer précisément la taille du noyau martien, de son manteau et de sa croûte, paramètres indispensables pour la modélisation de son histoire thermique. Les co-directeurs de la thèse ont postulé en Février 2018 (résultat en Mai 2018) pour devenir Participating Scientists de la mission dans le cadre de la thèse proposée.

La démarche suivie pendant la thèse sera essentiellement expérimentale. Nous chercherons à établir des diagrammes de régime et des lois d'échelle pour le comportement des océans magmatiques à partir d'expériences analogiques. Le dispositif expérimental sera composé d'une cuve remplie d'un liquide visqueux chargé en particules de plastique, représentant la roche en fusion partiellement cristallisée. Pour prendre en compte l'apport de chaleur interne nous utiliserons un four à micro-ondes avec un rayonnement homogène. L'absorption des micro-ondes - et donc le taux de chauffage interne - sera quant à lui fonction de la teneur en cristaux, seul le fluide étant absorbant. Ce comportement est analogue à ce qui se produit dans un océan magmatique en cours de cristallisation dans la mesure où les éléments radioactifs ne se concentrent que dans le liquide. Les diagrammes de régime et les lois d'échelle seront explorées, d'une part, en changeant la teneur en cristaux et les taux de chauffage, et, d'autre part, en changeant les propriétés du fluide, viscosité et densité.