

Offre de Thèse Doctorale

Modélisation numérique des modes de ségrégation et différenciation d'une croûte continentale en fusion partielle

Encadrement: Muriel Gerbault (GET-IRD), Nicolas Thébaud (Univ. Western Australia)

Co-encadrants: Thomas Bonometti(IMFT), Olivier Vanderhaeghe, Stéphanie Duchêne (GET)

Contact : muriel.gerbault@get.omp.eu, nicolas.thebaud@uwa.edu.au, thomas.bonometti@imft.fr

Contrat : CNRS MITI (IRN FalCol), Salaire : 2135 euros/mois (net) pour 3 ans.

Lieu : GET OMP 14 avenue Edouard Belin, Toulouse, France - Ecole Doctorale SDU2E.

Candidatures à envoyer avant la session d'auditions (zoom) du 20 au 28 juillet 2022.

Conditions de candidature : la candidature doit inclure un CV, une documentation sur les mérites éducatifs, les qualifications et les activités antérieures. Des compétences en programmation informatique et en thermodynamique/pétrologie sont recherchées. Une lettre décrivant les motivations personnelles et une proposition accompagnant le programme de recherche seront bienvenus. Si vous avez effectué un diplôme à l'étranger, celui-ci sera évalué par l'école doctorale SDU2E avant de pouvoir accéder à l'emploi.

Résumé du projet : L'objectif est de développer une méthode numérique couplant des outils thermodynamiques et thermomécaniques appliqués à l'évolution d'une croûte en fusion partielle et à la ségrégation liquide/solide, pour combler le gap de description des modes de transferts des magmas, à l'échelle minérale lors de réactions métamorphiques et à échelle crustale par écoulements visqueux gravitaires induits par des forces extérieures. Ce projet poursuit le développement de solveurs OpenFOAM par une méthode VOF, méthode qui permet de bien suivre les déformations aux interfaces de phases fluides hétérogènes (Louis-Napoléon et al., 2020,2021). L'incorporation des interactions thermiques et compositionnelles entre phases fluides distinctes permettra de formaliser comment celles-ci évoluent, migrent et contribuent à la formation de croûte continentale.

But et objectifs : la différenciation de la croûte est contrôlée par la fusion partielle et les transferts de fluides magmatiques. La circulation de ces fluides a un impact déterminant sur le transfert d'éléments d'intérêt économique (Chi & Xue, 2011). La compréhension de cette circulation est donc essentielle pour guider l'exploration des ressources du sous-sol. Alors que les conditions de fusion partielle et de cristallisation peuvent être déterminées par modélisation thermodynamique (Holland & Powell, 2011), le comportement dynamique de croûtes partiellement fondues est aussi abordé par modélisation thermomécanique (Poh et al., 2020; Piccolo et al., 2021; Schmeling et al., 2021). Certains modèles prennent en compte les réactions métamorphiques génératrices de fluides, tandis que d'autres traquent les échanges à l'échelle du grain (e.g. Petrella et al., 2021): notre objectif ici est de relier ces échelles avec l'appui de l'observation de terrain et d'études pétrologiques en laboratoire. Alors que l'on débat des modes d'écoulement des fluides magmatiques (migration, mélange ou transport réactif), ou si les colonnes crustales sont des systèmes chimiquement ouverts à des profondeurs distinctes (par exemple, Cornet et al., 2022), nous chercherons ici à mieux formaliser ces processus à l'échelle intermédiaire.

Nous nous appuyerons sur l'exemple de la ceinture Eburnéenne d'Afrique de l'Ouest, qui témoigne d'un événement majeur de croissance crustale vers 2 Ga, et est composée de séries volcano-sédimentaires affectées par du métamorphisme schiste-vert, des granulites et des intrusions plutoniques. Là, les roches vertes alternent sur une longueur d'onde d'environ 20 km, et le rôle dominant des instabilités gravitaires sur une tectonique horizontale reste débattue (Ganne et al., 2014). Le programme WAXI (waxi4.org/waxi-4/waxi-1-3/) a réuni une base de données unique qui met en évidence le rôle du métamorphisme des séries volcano-sédimentaires dans la genèse des gneiss migmatitiques, des fluides et des ressources minérales associées (Masurel et al., 2021). D'autres sites serviront de comparaison: les terrains protérozoïques Australiens, les Alpes européennes Crétacé et les dômes migmatitiques de Naxos (Siebenaller et al., 2013). Ces données de terrain et de laboratoire serviront d'abord à contraindre les conditions initiales et limites des modèles et à guider l'identification des principaux modes de transport des fluides magmatiques (réaction, diffusion, localisé, diapirisme, convection), tandis que les modèles en retour, guideront l'identification sur le terrain, des processus d'«homogénéisation/ségrégation». Cette interdisciplinarité sera favorisée par le cadre international offert par l'IRN FalCol (oceania.cnrs.fr/project/irn-falcol/).

Méthodologie : La méthode numérique VOF est l'une de celles qui conserve le mieux la masse dans un écoulement fluide multiphasique, ce qui est un atout majeur dans la compréhension des processus de ségrégation crustale. L'objectif de ce projet est de poursuivre le développement de solveurs associés au code opensource OpenFOAM, en incorporant l'évolution thermodynamique d'une colonne crustale hétérogène (e.g. MagmaFOAM, Brogi et al., 2020, et Carrillo et al., 2020). Ce contrôle sur la composition et la rhéologie de la matrice et des liquides magmatiques permettra d'identifier les différentes échelles de transport de volumes fluides (percolation via le milieu poreux ou par convection-diapirisme), et donc leur impact sur la ségrégation solide/liquide. Une attention particulière sera consacrée aux réactions de fusion partielle et de cristallisation qui jouent un rôle dans le cycle des fluides aqueux et carboniques participant aux processus métallogéniques (Petrella et al., 2021). Ces modèles numériques permettront ainsi de quantifier les transferts magmatiques conduisant à la différenciation crustale.

Plan de travail

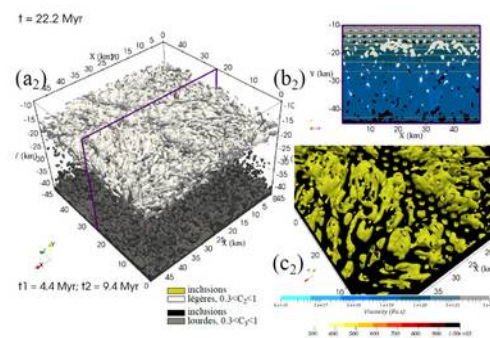
- *Année 1 : prise en main d'OpenFOAM (openfoam.com) d'abord à échelle crustale (comme Louis-Napoléon et al., 2021), en variant conditions initiales, puis insertion progressive des conditions thermodynamiques. Publication 1.
- *Année 2 : Implémentation de l'approche multiphysique d'échelle 1-100 mètres. + Mission de terrain via le réseau Falcol. 1 atelier ou conférence.
- *Année 3 : Analyse des résultats, synthèse et rédaction de la publication 2, présentation de résultats en conférence. Rédaction du manuscrit de thèse.

Equipements: plateforme d'analyses pétrologiques et géochronologiques du GET (www.get.omp.eu/), et supports numériques du cluster communautaire Nuwa de l'OMP et du supercalculateur Olympe du centre régional CALMIP (calmip.univ-toulouse.fr/).

Les frais de missions de terrain, de déplacement et de conférences seront couverts par des subventions nationales annuelles et l'IRN FalCol.

Le GET (Geosciences Environnement Toulouse) est un laboratoire multi-disciplinaire de l'Observatoire Midi-Pyrénées. Cette unité mixte de recherche (CNRS, IRD, CNES, Univ. P. Sabatier) regroupe environ 226 personnes. Les thèmes de recherche sont la Terre interne, ses surfaces et interfaces continentales, pour améliorer nos connaissances sur i) l'évolution et la dynamique de la Terre, ii) l'observation spatiale et in situ de la Terre, iii) la zone critique et les interactions fluide-roche-vivant, iv) les géo-ressources et les interactions Contaminants-Environnement-Santé. Cette thèse sera part de l'équipe TIL (www.get.omp.eu/til/), qui développe une forte composante pétro-structurale. Elle sera co-encadrée par : i) Muriel Gerbault, chercheur IRD, modélise déformations géodynamiques et tectono-volcaniques avec des modèles thermo-mécaniques (www.get.omp.eu/author/muriel-gerbault/), ii) Nicolas Thébaud UWA, géologue pétrologue de processus métallogéniques-provinces 'anciennes' d'Australie et Afrique (research-repository.uwa.edu.au/en/persons/nicolas-thebaud/), iii) Thomas Bonometti est dynamiqueien des fluides à l'IMFT (Institut de Mécanique des Fluides, Toulouse, (www.imft.fr/pages-personnelles/bonometti-thomas/)).

Simulation 3D avec OpenFOAM de la formation de domes migmatitiques dans une croûte chaude hétérogène en fusion partielle (inclusions blanches s'accumulant sous la croûte supérieure après avoir convecté). D'après Louis-Napoléon (2020).



References

- Brogi, et al. (2022). MagmaFOAM-1.0 (...) *Geoscientific Model Development*, 15(9), 3773-3796.
- Louis-Napoléon A., Gerbault M., et al. (2020). 3D numerical modelling of crustal polydiapirs, *Geoph.J.Int.* 222(1) 474-506.
- Louis-Napoleon A., Bonometti T. et al. (2022). Convection and segregation in crusts with a VOF method-I. *Geophys.J.Int.*
- Petrella, L., Thébaud, N., et al. (2021). Competitive fluid-rock interaction processes *Geochim. Cosmochim. Acta*, 313, 38-54.
- Piccolo, A., Kaus, B. et al. (2020). Plume-Lid interactions during the Archean. *Gondwana Research*, 88, 150-168.
- Poh, J., Yamato, P., et al. (2021). Transition from ancient to modern-style tectonics. *Gondwana Res.* 99, 77-92.
- Siebenaller, L., Boiron, M., et al. (2013). Fluid record of rock exhumation (Naxos Island). *J. Metam.Geol.* 31(3), 313-338.