

Modélisation des saumures magmatiques : implémentation d'une équation d'état pour le système H₂O-NaCl

Contexte

Les saumures au-dessus des réservoirs magmatiques pourraient renfermer des quantités importantes de métaux (jusqu'à plusieurs Mt de cuivre et d'autres métaux critiques) et présenteraient un potentiel géothermique important (Blundy et al. 2021). Ce stage de M2 se déroulera au sein de l'équipe pluridisciplinaire du projet ANR « MAGBRINES » (2024-2028) qui vise à mieux les comprendre et modéliser leur composition et leur circulation au niveau de l'arc des Antilles.

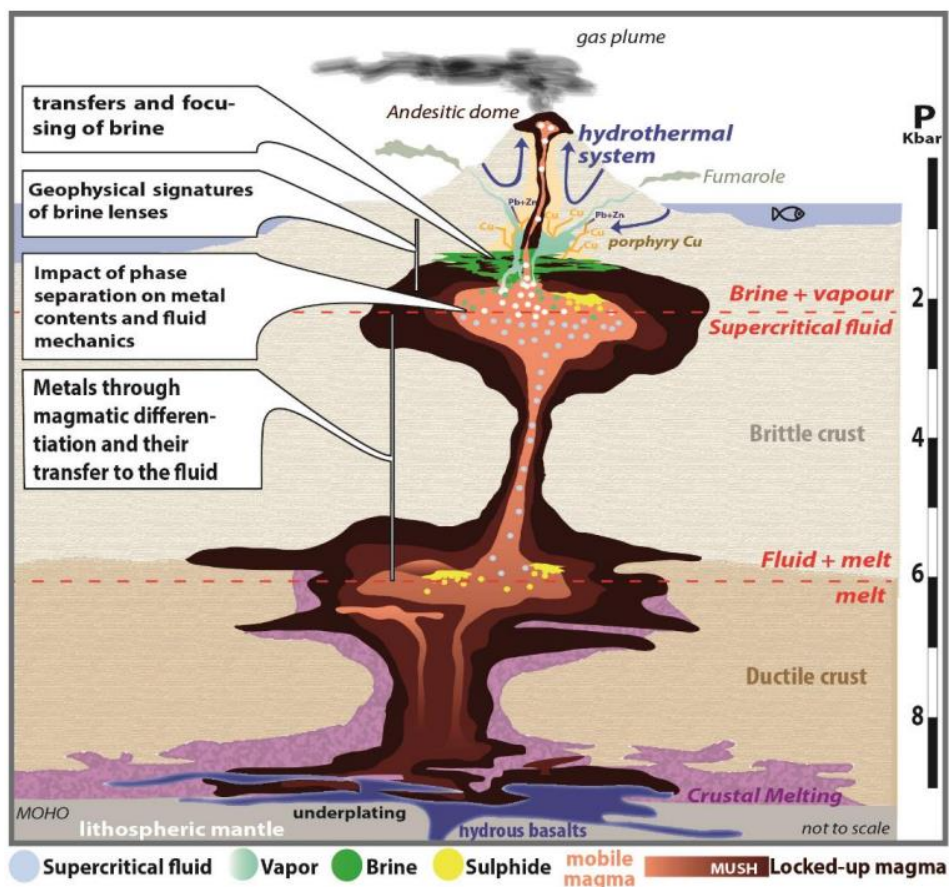


Figure 1 : Schéma de principe des systèmes cibles du projet MAGBRINES. Plusieurs réservoirs magmatiques se superposent et des fluides chargés en métaux sont exsudés à différents niveaux. Leur composition chimique évolue au grès des changements de phases et en fonction de leurs interactions avec les fluides hydrothermaux aux faibles profondeurs. Les teneurs importantes en métaux dissous conduisent à des minéralisations sous forme de veines dans l'enceinte.

La physique de ces écoulements polyphasiques et multicomposants demande le développement d'outils dédiés tant en matière de capacité de calcul (modèles maillés complexes) qu'en matière de robustesse pour la prise en compte de physiques non-linéaires avec plusieurs ordres de grandeurs caractéristiques. Ainsi, l'espace des phases possibles augmente rapidement avec le nombre de composants, et les propriétés physiques de chacune de ces phases varient de manière non-linéaire sur des gammes de

pression et de température extrêmement vastes, des conditions de surface jusqu'aux conditions supercritiques.

Le code ComPASS est développé de manière partenariale pour répondre à ces défis. Il s'agit d'un code parallèle open-source¹ (Armandine Les Landes et al. 2023) qui comprend un simulateur d'écoulement générique qui peut être couplé avec différents modules physiques. Les scripts de simulation et ces modules physiques sont écrits en python ce qui permet un prototypage et une mise au point rapide des scénarios de simulation.

Dans une première approche (ce stage de M2), les saumures magmatiques ne seront constituées que d'eau et de sel (système H₂O-NaCl). En utilisant un article de synthèse (Driesner et Heinrich 2007), il s'agira d'implémenter en python dans ComPASS, les corrélations représentant les propriétés physiques de ces saumures et couvrant les domaines sous et super critiques. Une fois ce travail réalisé, le code existant pourra être utilisé pour reproduire des simulations 2D déjà publiées où une source de fluide et une source de chaleur sont imposées à la base du système (Philipp Weis et al. 2014; P. Weis 2015). On s'attachera notamment à illustrer l'évolution du système au cours du temps en caractérisant sa température, sa salinité et les flux de matière et d'énergie. Selon l'avancée des résultats, une réflexion pourra être menée sur les propriétés électriques des saumures, et la façon de convertir les résultats numériques en signal électrique. Pour cette partie (optionnelle), une interaction forte avec les collègues de l'ISTO (Institut des Sciences de la Terre d'Orléans) est attendue.

Profil recherché

Nous cherchons un étudiant motivé pour réaliser un M2 Recherche au sein d'une équipe pluridisciplinaire. Il existera une possibilité de continuer en thèse dans le cadre du projet MAGBRINES.

Le candidat devra disposer de connaissances en géosciences (de bonnes bases en chimie et ou en géochimie seront un plus), d'une appétence et de compétences pour la programmation (python, la connaissance de C++ est un plus) et de bonnes bases en mathématiques appliquées.

Le stage se déroulera au BRGM à Orléans en collaboration étroite avec le laboratoire Dieudonné (Université Côte d'Azur / INRIA) et l'équipe de l'ISTO (Institut des Sciences de la Terre d'Orléans).

Pour plus de renseignements et pour candidater contacter :

l.beaude@brgm.fr, s.lopez@brgm.fr, l.guillou-frottier@brgm.fr

Bibliographie

Armandine Les Landes, et al. 2023. « Geothermal Modeling in Complex Geological Systems with ComPASS ».

<https://brgm.hal.science/hal-04246471>.

Blundy, et al. 2021. « The Economic Potential of Metalliferous Sub-Volcanic Brines ». Royal Society Open Science 8 (6):

202192. <https://doi.org/10.1098/rsos.202192>.

Driesner et Heinrich 2007. « The system H₂O–NaCl. Part I & II: Correlation formulae for phase relations in temperature–pressure–composition space from 0 to 1000 °C, 0 to 5000 bar, and 0 to 1 XNaCl ». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71 (20): 4880-40919. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.01.033> <https://doi.org/10.1016/j.gca.2007.05.026>

Weis, P. 2015. « The dynamic interplay between saline fluid flow and rock permeability in magmatic-hydrothermal systems ». *Geofluids* 15 (1-2): 350-71. <https://doi.org/10.1111/gfl.12100>.

Weis, et al. 2014. « Hydrothermal, multi-phase convection of H₂O-NaCl fluids from ambient to magmatic temperatures: a new numerical scheme and benchmarks for code comparison ». *Geofluids* 14 (3): 347-71.

<https://doi.org/10.1111/gfl.12080>.

¹ <https://gitlab.com/compass>