



ED 398 Géosciences, Ressources Naturelles et Environnement

Proposition de sujet de thèse pour la rentrée universitaire 2021-2022

Influence de la morphologie de la zone de socle altéré sous couverture sur la convection et les anomalies de température dans la zone centrale du graben du Rhin. Conséquences potentielles sur la distribution des teneurs en Lithium.c

Adresse courriel du contact scientifique : Dominique.brueel@mines-paristech.fr

Description du projet de thèse :

Contexte : L'Upper Rhine Graben a été très étudié en France et en Allemagne, pour la production d'hydrocarbures puis pour son potentiel géothermique. Des profils avec de forts gradients de température dans la partie sédimentaire sont connus en divers points du bassin (Vidal et al. 2018) et plusieurs sites industriels ont été développés et exploitent la chaleur des fluides par des forages profonds atteignant le socle, entre 2 et 3 km de profondeur, avec des températures de production qui vont au-delà de 150°C. Ces fluides sont des saumures dont la signature géochimique, salinité, isotopes, relations thermométriques (Sanjuan et al. 2016) témoigne d'un équilibre avec des roches sédimentaires de température voisine de $225\pm 25^\circ\text{C}$ plutôt qu'avec des roches de socle, en mélange avec une fraction d'eau d'origine météorique. La partie profonde du bassin qui pourrait atteindre ce niveau de température se situe au centre et au nord. Ces zones sont éloignées des forages où les anomalies sont observées, la plupart situés sur la bordure Ouest du bassin. La migration des fluides nécessite donc des mécanismes convectifs pour partie via un jeu complexe de failles. Ces saumures ont un autre intérêt : leur teneur en Lithium est significative, ce qui offre des perspectives industrielles nouvelles.

Objet du travail : La question scientifique est donc de savoir si les mécanismes mis en avant pour les transferts thermiques renseigneraient également sur la distribution à grande échelle des perméabilités et des teneurs en Lithium. La première étape est donc d'avancer sur la modélisation 3D de la distribution des températures. Les essais de reconstruction des champs de température en 3D montrent que la conduction seule n'y suffit pas (Freymark et al. 2017). Les travaux plus anciens en 2D (Pribnow et al., 2000) sur des coupes transverses montrent le rôle des transferts latéraux dans le socle. Les effets couplés dus aux contrastes densitaires ainsi que la pente de l'interface socle/sédiment expliquent comment des cellules convectives peuvent se localiser et comment la combinaison avec un corridor de faille suffisamment perméable peut favoriser l'apparition d'un upflow thermique cohérent avec les profils de température vus sur les diagraphies (Guillou Frottier et al. 2013). En 3 dimensions, le rôle des failles bordières sur l'hydraulique à l'échelle du bassin a été étudié (Freyarck et al. 2019), mais aboutit à des circulations profondes convergentes des limites latérales vers la partie axiale du bassin, ce qui n'est pas encore convaincant. La seconde étape sera de tester comment un modèle couplé, jugé amélioré du point de vue thermique, rendrait compte de la distribution de la salinité, en supposant cette salinité comme un traceur parfait.

Méthode : La morphologie générale du bassin est connue et on dispose à grande échelle des différentes surfaces stratigraphiques, de la carte du toit du socle ainsi que des linéaments des principales failles. Plusieurs diagraphies thermiques sont disponibles sur le bassin, ainsi que des mesures de salinité et teneurs en Li. Les apports d'eau météorique par les faces latérales sont bornés (Thierion et al. 2013). Ces données seront à la base des travaux de modélisation, en particulier de reconstruction des champs de température. Les outils de calculs mis à disposition sont d'une nouvelle génération. Ils seront d'abord testés sur une géométrie simplifiée de type « slab incliné » afin

d'évaluer leur performance. Ensuite ils seront déployés sur une image complexe plus réaliste de l'objet géologique 3D, nécessitant un maillage plus sophistiqué.

Résultat escompté: Le principal résultat attendu sera d'évaluer si une cible à température élevée sera nécessairement une cible également attractive pour son contenu en Li ou si des zones moins chaudes, et par exemple moins profondes avec des coûts de forage moindres et une répartition spatiale plus large, peuvent être aussi attractives du point de vue du Li, la chaleur devenant alors la substance connexe (celle avec laquelle on gagnerait moins) sur le PER.

Convection and temperature anomalies in the central zone of the Upper Rhine Graben. Role of top basement heterogeneities and possible link with the spatial distribution of lithium

Abstract: *The Upper Rhine Graben is known for its thermal anomalies with locally strong gradients in its sedimentary part. Several geothermal sites exploit this resource at temperatures above 150 °C, thanks to deep drilling, down into the basement at depths between 2 and 5 km. These fluids extracted from the basement are brines and have also a lithium content which makes them interesting for the battery industry. However, their geochemical signature indicates an equilibrium with deep basin formations, at temperatures of the order of 225 ° C, which implies a migration of the deep parts of the basin towards its margins. This thesis project proposes to investigate the different driving mechanisms of convection given the general morphology of the altered fractured zone associated with fault corridors and then check if the Li content can be the result of the migration of brines.*

Références / Références:

Pribnow et al. (2000) GRL. Vol. 27, n° 13, pp. 1957-1960

Guillou-Frottier et al. (2013) J. of Volcanology and Geothermal Research, 256, 29-49

Sanjuan et al. (2016) Chemical Geology, 428 : 27-47

Freymark et al. (2017) Tectonophysics, 694, 114-129

Compétences et connaissances requises :

Intérêt marqué pour la modélisation numérique, écriture de scripts (python, ..), interfaçage avec différents outils, associé à un bagage de géologie et hydrogéologie permettant d'appréhender à l'échelle globale le fonctionnement d'un milieu complexe à l'interface socle faillé – couverture.