



## **Modélisation des circulations de fluides profonds et interaction avec les bassins pour les applications géothermiques.**

Adresse courriel du contact scientifique : [laetitia.le.pourhiet@sorbonne-universite.fr](mailto:laetitia.le.pourhiet@sorbonne-universite.fr)

### **Description du projet de thèse :**

La Géothermie active par injection de fluide peut induire des séismes. L'ISTeP est engagée via l'ANR GeresFault (2020-2024) sur un programme de développement de la géothermie utilisant les zones de forte perméabilité naturelle qui permettent d'exploiter des fluides chauds profonds qui remontent naturellement le long de structures crustales actives ou héritées. Ces fluides circulent plus lentement que dans le cas de la géothermie de type EGS et peuvent interagir avec les processus tectoniques et géodynamiques à grande échelle qui sont le cœur de l'expertise de l'ISTeP. Mieux comprendre ces interactions peut à terme nous aider mieux comprendre la distribution et l'histoire long-terme de ces circulations et donc la déformation crustale associée, mais aussi nous fournir des guides de prospection.

Le but de cette thèse est de développer un module de circulation de fluides géothermiques dans le code pTatin en 2 et 3D. Basé sur les travaux de la thèse de L. Mezri et de S. Angiboust, la thèse adaptera une formulation ressemblant à la loi de Darcy en utilisant de plus une perméabilité qui dépend du taux de déformation. Contrairement aux approches antérieures, la température des fluides et du solide seront résolues séparément et couplées *via* le temps de résidence du fluide dans les différents réservoirs, dans le but de traquer la température du fluide en interaction avec un encaissant dont la température est différente. Ce module Darcy sera développé à l'aide d'un nouveau solveur d'advection/diffusion en volume fini conservatif qui vient d'être implémenté dans pTatin3D. Une fois ce module fluide développé (1 an), il s'agira de mettre des jalons sur les grands contextes tectoniques pour asseoir la méthode. On s'attachera plus particulièrement au contexte des failles intracratoniques pour garder un ancrage dans l'ANR Geresfault et donc bénéficier des mesures faites par les différentes équipes sur la faille de Pongibault dans le Massif Central. Par ailleurs, il est aussi prévu d'appliquer le modèle aux prismes d'accrétion avec pour exemple-clef le Golfe de Cadix où D. Do Couto a accès à de nombreuses mesures *in situ* du flux de chaleur et de la chimie des fluides, mais aussi le prisme du Makran où des études en cours au laboratoire, ou le flux de chaleur est calibré par un réflecteur sismique particulier sensible à la température (BSR), montrent un fort potentiel pour des circulations de fluides chauds dans le prisme. Enfin, il sera aussi possible de calibrer le modèle en contexte extensif en s'attachant aux réservoirs de géothermie haute température associé aux metamorphic core complexes de l'ouest de la Turquie et de la Mer Egée, qui pourront être comparés aux réservoirs géothermiques des Basins and Ranges décrits dans la littérature.

## ***Numerical modelling of deep fluids circulations and their interactions with sedimentary basins for geothermal applications.***

Active geothermal energy by fluid injection can induce earthquakes. ISTeP is committed via the ANR GeresFault (2020-2024) on a geothermal development program which aims at using zones of naturally high permeability to exploit deep hot fluids which rise naturally along active or inherited crustal structures. These fluids circulate slower than in the case of EGS-type geothermal energy and can interact with large-scale tectonic and geodynamic processes that are the core of ISTeP's expertise. Better understanding these interactions can ultimately help us better understand the distribution and long-term history of these circulations and therefore the associated crustal deformation, but also provide us with prospecting guides.

The aim of this thesis is to develop a geothermal fluid circulation module in the pTatin code in 2 and 3D. Based on the work of the thesis of L. Mezri and S. Angiboust, the thesis will adapt a formulation resembling Darcy's law while also using a permeability which depends on the rate of deformation. Unlike previous approaches, the temperature of the fluids and the solid will be resolved separately and coupled via the residence time of the fluid in the different reservoirs, in order to track the temperature of the fluid interacting with a host whose temperature is different. This Darcy module will be developed using a new conservative finite volume advection / diffusion solver that has just been implemented in pTatin3D. Once this fluid module has been developed (1 year), the candidates will explore applications to major tectonic contexts to establish the method.

We will focus more particularly on the context of intracratonic faults in order to maintain a strong link with ANR Geresfault and therefore benefit from the measurements made by the various teams on the Pongibault fault in the Massif Central. In addition, we will explore applications to accretion prisms, with the Gulf of Cadiz as a key example, where D. Do Couto has access to numerous in situ measurements of heat flow and fluid chemistry, but also the Makran prism, where the heat flow is calibrated by a particular temperature-sensitive seismic reflector (BSR) and show a high potential for circulations of hot fluids. Finally, it will also be possible to calibrate the model in an extensive context by focusing on high temperature geothermal reservoirs associated with complex metamorphic cores of western Turkey and the Aegean Sea, which can be compared to the geothermal reservoirs of the Basins and Ranges described in the literature.

### **Compétences et connaissances requises :**

Le candidat doit avoir une connaissance de la programmation, une expérience de modélisation et de l'environnement Linux et une sérieuse appétence pour coder en C. Une expérience dans ce langage n'est pas nécessaire mais bienvenue. Le candidat doit aussi avoir démontré dans ses mémoires de recherche antérieures une certaine maîtrise des équations de conservation de l'énergie et du moment pour les fluides en particulier, mais aussi des connaissances en tectonique et sédimentologie.

### ***Prerequisite skills and knowledge :***

*The successful candidate should have knowledge of programming, experience in modeling and the Linux environment, and a will for coding in C. Experience in this language is not necessary but welcome. The candidate must also have demonstrated in his previous research projects good knowledge of energy and moment conservation equations for fluids in particular, but also a good knowledge of tectonics and sedimentology.*