

Avis de Soutenance

Madame Emmy PENHOËT

Sciences de l'Univers

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Exploration de nouvelles cibles géothermiques en domaine de socle fracturé : étude multidisciplinaire du système hydrothermal de Chaudes-Aigues (Massif Central)

dirigés par Monsieur Laurent GUILLOU-FROTTIER et Monsieur Laurent ARBARET

Ecole doctorale : Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers - EMSTU

Unité de recherche : ISTO - Institut des Sciences de la Terre d'Orléans

Soutenance prévue le **mardi 23 septembre 2025** à 14h30

Lieu : OSUC, Campus Géosciences, 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans

Salle : E018

Composition du jury proposé

M. Laurent GUILLOU-FROTTIER	BRGM	Directeur de thèse
M. Andrea MOSCARIELLO	Université de Genève	Rapporteur
M. Laurent ARBARET	Institut des Sciences de la Terre d'Orléans	Co-directeur de thèse
M. Patrick LACHASSAGNE	Hydrosciences Montpellier	Examinateur
Mme Béatrice LEDÉSERT	Cergy Paris université	Examinatrice
Mme Caroline MARTEL	Institut des Sciences de la Terre d'Orléans	Examinatrice
M. Alain DUPUY	BRGM	Examinateur
M. Yannick BRANQUET	Université de Rennes	Rapporteur

Mots-clés : Chaudes-Aigues, Sources thermales, Géologie structurale, Modélisation numérique, Géochimie des eaux, Gravimétrie

Résumé :

Les systèmes hydrothermaux en domaine de socle fracturé constituent des cibles prometteuses pour l'exploration géothermique haute température. Cependant l'exploration de ces zones restent limitée et le fonctionnement de ces systèmes mal contraint. A travers l'exemple du système hydrothermal de Chaudes-Aigues, hébergeant l'une des sources les plus chaude d'Europe, le but de cette étude consiste à déterminer les principaux facteurs de contrôle et le fonctionnement global du système. Une approche combinant géologie structurale, géochimie des eaux, géophysique (gravimétrie) et modélisation numérique 3D a été mise en œuvre. L'analyse structurale a permis d'identifier les principales zones de faille (N0, N50, N150), de caractériser leur perméabilité relative et leurs interactions. La géochimie des eaux thermales a fourni des informations essentielles sur la nature, la température du réservoir, l'origine des eaux et leurs zones d'infiltration. Des données gravimétriques ont permis de contraindre les géométries profondes. Ces observations de terrain ont ensuite alimenté des modélisations numériques thermo-hydrauliques 3D afin de simuler la circulation des fluides et d'imager les processus en profondeur. Les résultats confirment l'existence d'un double circuit, initialement proposé par Vasseur et al. (1997), au sein du Granite de la Margeride. Deux grands types de circulation sont identifiés : un écoulement superficiel au sein du régolithe altéré, illustré par la source de La Chaldette, qui pourrait agir comme un aquifère de surface et expliquer les forts débits à Chaudes-Aigues (500 l/min). En parallèle, un circuit profond alimente un réservoir, dont la température atteint 190°C sous la ville. La remontée rapide des fluides chauds est favorisée par la présence des failles varisques réactivées au cours des temps géologiques. Cette perméabilité est localement renforcée par leur intersection avec un autre faisceau

de failles varisques. L'impluvium principal a pu être localisé au sud de Chaudes-Aigues, principalement dans une zone de faille N150 dans le Granite de la Margeride. Contrairement aux modèles antérieurs, les filons de microgranite n'apparaissent plus comme des vecteurs majeurs de la circulation des fluides. Ceux-ci peuvent même constituer des barrières hydrauliques, de même que les veines de quartz ou mylonites observées au nord du site. Ces structures contribuent à concentrer les émergences au centre de la vallée. Enfin, les modèles numériques estiment un temps de résidence des fluides compris entre 20 000 et 200 000 ans, ce qui remet en cause une origine glaciaire récente. L'intégration de données multidisciplinaires et la modélisation 3D ont permis de reconstituer le trajet complet de l'eau, de l'infiltration à l'émergence, tout en reproduisant le flux de chaleur régional, les températures et les débits des sources. En parallèle, une étude paramétrique a été réalisée sur l'impact de la géométrie du réseau de failles. Les deux zones de failles principales du Granite de la Margeride ont été utilisées : Chaudes-Aigues et la faille de la Margeride. Ces deux exemples particuliers ont permis de comprendre l'impact de la géométrie sur la formation d'anomalies thermiques par le biais de la convection hydrothermale. Cette approche constitue un outil efficace pour l'exploration géothermique en domaine de socle fracturé. Cette étude a notamment permis d'identifier d'autres systèmes hydrothermaux cachés au sein du granite de la Margeride. En outre, d'autres systèmes analogues, en France ou en Europe, pourraient être faire l'objet d'une exploration similaire.