

OFFRE DE THESE

Comportement géomécanique des réservoirs géothermiques fracturés par analyse des données sismiques et hydrauliques et par modélisation numérique

Nos réf. : Ineris - 228231 - ID 2853688

Type de contrat : Contrat doctoral de droit privé

Début de la thèse : Octobre 2026

Localisation : Nancy (54)

Télétravail : 100 jours par an

Contact pour plus d'informations : francesca.de-santis@ineris.fr

CONTEXTE

La géothermie profonde est une source d'énergie renouvelable et non intermittente, appelée à jouer un rôle majeur dans la transition énergétique en France et en Europe. Son développement, notamment dans les réservoirs naturellement fracturés, soulève toutefois des problématiques techniques et sociétales.

Parmi celles-ci, la sismicité induite liée aux opérations d'injection et de production de fluides représente un enjeu central. Si la majorité des événements générés sont de faible magnitude et non ressentis en surface, certains séismes plus importants peuvent survenir, affectant l'acceptabilité sociale des projets et leur viabilité à long terme (e.g. Evans et al., 2012 ; De Santis et al., 2026).

Dans ce contexte, une compréhension approfondie des mécanismes contrôlant le déclenchement, la migration et l'intensité de cette sismicité est donc indispensable pour minimiser son occurrence et donc sécuriser et optimiser l'exploitation des systèmes géothermiques profonds.

OBJECTIFS DE LA THÈSE

Cette thèse vise à améliorer la compréhension des processus physiques gouvernant la sismicité induite dans un réservoir géothermique profond naturellement fracturé du Fossé rhénan, exploité depuis plus d'une décennie. Elle s'appuie sur un jeu de données exceptionnel combinant données microsismiques, données hydrauliques d'exploitation, données de forage et informations géologiques et structurales détaillées. Ces données ont déjà contribué à l'analyse de la réponse sismique du réservoir, couvrant à la fois les phases de stimulation et d'exploitation du site (Baujard et al., 2017 ; Lengliné et al., 2017 ; Maurer et al., 2020 ; Lengliné et al., 2025).

L'enjeu scientifique principal de cette thèse réside dans l'analyse intégrée des interactions entre diffusion de la pression de pore, variations de l'état de contrainte (poro- et thermo-élasticité), réactivation des failles préexistantes et éventuels phénomènes de glissement lent et asismique. La thèse cherchera à déterminer dans quelle mesure la sismicité observée peut être expliquée par la diffusion hydraulique seule ou si elle résulte de mécanismes couplés plus complexes. Elle visera également à contraindre l'évolution spatio-temporelle des paramètres à la source (moment sismique, fréquence coin, stress drop, etc.) et des statistiques sismiques (b-value, p-value, etc.) en lien avec les conditions opérationnelles, afin de mieux caractériser la dynamique du réservoir. Puis, les hypothèses formulées à partir de l'analyse des données seront testées à travers le développement et l'exploitation de modèles géomécaniques thermo-hydro-mécaniques couplés, intégrant des lois de frottement adaptées à la description des glissements sismiques et asismiques (e.g. Dublanche et De Barros, 2021 ; Gerardi et al., 2024). Ces modélisations permettront d'évaluer la stabilité des failles, d'explorer différents scénarios d'exploitation et de confronter les résultats numériques aux observations issues des données réelles.

L'ensemble de ces travaux devront in fine permettre d'estimer la magnitude maximale susceptible d'être générée, en intégrant les propriétés thermo-hydro-mécaniques du réservoir, sa structuration et les conditions d'exploitation. Ils devront aussi permettre d'identifier des indicateurs et critères opérationnels susceptibles d'anticiper l'occurrence d'événements significatifs, afin de proposer des recommandations contribuant à la maîtrise de l'aléa sismique sur le site étudié, et plus largement pour les projets géothermiques profonds en milieux fracturé.

PERSPECTIVES DE CARRIÈRE

Par sa nature multidisciplinaire, à l'interface entre sismologie, géomécanique, modélisation numérique et ingénierie des réservoirs, cette thèse offrira au (à la) doctorant(e) une formation à la recherche et par la recherche sur un large champ disciplinaire. La richesse des approches mobilisées, combinant analyse de données, modélisation et problématiques opérationnelles, permettra d'acquérir des compétences valorisables dans plusieurs domaines des géosciences et de l'ingénierie du sous-sol.

Ce doctorat ouvrira ainsi des perspectives aussi bien académiques (poursuite en post-doctorat, carrière d'enseignant-chercheur ou de chercheur en organisme public) qu'industrielles, notamment dans les secteurs de la géothermie, de l'énergie, du stockage souterrain, de la gestion des risques naturels et technologiques, ou plus largement de l'ingénierie géotechnique et environnementale. L'expérience acquise dans un cadre partenarial associant recherche publique et exploitant industriel constituera un atout majeur pour évoluer à l'interface entre recherche fondamentale et applications opérationnelles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Baujard, C., Genter, A., Dalmis, E., Maurer, V., Hehn, R., Rosillette, R., Vidal, J., Schmittbuhl, J., 2017. Hydrothermal characterization of wells GRT-1 and GRT-2 in Rittershoffen, France: Implications on the understanding of natural flow systems in the Rhine graben. *Geothermics* 65, 255–268.

De Santis, F., Klein, E., Thoraval, A., Maury, J., 2026. Patterns and controls of induced seismicity in geothermal reservoirs: insights from case studies and implications for hazard assessment and mitigation. *Geothermics* 139, 103665.

Dublanquet, P., De Barros, L., 2021. Dual Seismic Migration Velocities in Seismic Swarms. *Geophysical Research Letters* 48, e2020GL090025.

Evans, K.F., Zappone, A., Kraft, T., Deichmann, N., Moia, F., 2012. A survey of the induced seismic responses to fluid injection in geothermal and CO2 reservoirs in Europe. *Geothermics* 41, 30–54.

Gerardi, G., Dublanquet, P., Jeannin, L., Kazantsev, A., Duboeuf, L., Ramadhan, I., Azis, H., Ganefianto, N., Nugroho, I.A., 2024. Geomechanical modelling of injection-induced seismicity: the case study of the Muara Laboh geothermal plant. *Geophysical Journal International* 237, 818–837.

Lengliné, O., Boubacar, M., Schmittbuhl, J., 2017. Seismicity related to the hydraulic stimulation of GRT1, Rittershoffen, France. *Geophysical Journal International*, 208, 1704–1715.

Lengliné, O., Maurer, V., & Yorillo, A. (2025). Intermittent induced seismicity during the multiyear operation of a geothermal reservoir. *Geophysical Journal International*, 242(1), ggaf160.

Maurer, V., Gaucher, E., Grunberg, M., Koepke, R., Pestourie, R., Cuenot, N., 2020. Seismicity induced during the development of the Rittershoffen geothermal field, France. *Geothermal Energy* 8, 5.

ENCADREMENT, LIEU DE LA THESE ET DEPLACEMENTS

La thèse bénéficiera de la collaboration entre l’Ineris, le Centre de Géosciences de Mines Paris – PSL et Électricité de Strasbourg Géothermie (ESG), exploitant du site géothermique étudié. Elle s’inscrit dans le cadre du programme de recherche PEPR *Sous-sol bien commun Terre numérique (Digital Earth)*. La thèse sera dirigée par Pierre Dublanquet de Mines de Paris, co-dirigée par Francesca De Santis et Farid Laouafa de l’Ineris, et co-encadrée par Vincent Maurer de ESG. Le comité de pilotage de la thèse pourra inclure d’autres expert(e)s issu(e)s du domaine académique et de la recherche publique.

Le(a) doctorant(e) sera rattaché(e) à l’unité Auscultation Géotechnique et Géophysique (AS2G), au sein de la direction Sites et Territoires (SIT) de l’Ineris. Cette unité, composée de 16 personnes, est localisée géographiquement à Nancy, sur le site du Campus ARTEM ; elle est spécialisée dans la surveillance des risques du sol et du sous-sol.

Durant la thèse, des missions de courte durée seront à prévoir au siège de l’Ineris, à Verneuil-en-Halatte (60), ainsi que des missions récurrentes (de courte ou longue durée) aux Mines Paris à Fontainebleau (environ 20% du temps total de travail) et chez ESG à Strasbourg (environ 10% du temps total de travail). D’autres missions seront aussi réalisées au cours de la thèse, en France et à l’international, notamment pour permettre la participation à des congrès et conférences scientifiques.

PROFIL

Le (la) candidat(e) devra être titulaire d’un Master 2 (ou diplôme équivalent) en géosciences, géophysique, sismologie, géomécanique, mécanique des milieux continus ou discipline connexe. Une formation solide en physique des milieux continus, mécanique des roches et/ou traitement du signal sismique sera particulièrement appréciée. Une première expérience en sismologie (analyse de catalogues, mécanismes au foyer, statistiques sismiques), en géomécanique ou en modélisation numérique constituera un atout.

Des compétences en programmation scientifique (Python, MATLAB, ou langage équivalent), une capacité à travailler avec des jeux de données complexes et multidisciplinaires, ainsi qu'une appétence pour la modélisation numérique sont requises.

Le (la) candidat(e) devra faire preuve d'autonomie, de rigueur scientifique, d'esprit d'initiative et de capacités rédactionnelles. Une aptitude au travail collaboratif est essentielle.

Une bonne maîtrise de l'anglais scientifique (lecture, rédaction, communication orale) est indispensable, la valorisation des travaux étant prévue dans des revues internationales et lors de conférences spécialisées.

PROCEDURE DE CANDIDATURE

Le dossier de candidature doit être envoyé à Francesca De Santis (francesca.de-santis@ineris.fr) et doit comporter :

- Un curriculum vitae détaillé,
- Le relevé de notes des 2 dernières années,
- Un exemple de production scientifique personnel (rapport de stage, rapport de projet scientifique, article, etc.),
- Une lettre de motivation à travailler sur le sujet de thèse proposé,
- Une ou deux lettres de recommandations (d'enseignants et/ou encadrants).

La date limite pour l'envoi du dossier de candidature est fixée au 08/05/2026.

INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES

Contrat de 39 h/semaine
18 RTT en plus des 31 CP annuels
Salaire brut : 2 105 €/mois
Durée : 3 ans
Horaires variables
Titres restaurants

INFORMATIONS SUR L'INERIS

L'Ineris (Institut national pour l'environnement industriel et des risques), qui compte environ 500 collaborateurs, est un organisme national de référence, sous tutelle du ministère chargé de l'environnement, dont la mission principale est de réaliser des études et des recherches permettant de prévenir les risques que les activités économiques font peser sur la sécurité des personnes et des biens.

Rejoindre l'Ineris c'est l'opportunité de mettre en œuvre et développer ses compétences dans le cadre des missions de recherches, d'appui et d'expertise pour le compte des pouvoirs publics et des industriels. L'Ineris dispose de 30 000 m² de laboratoires et halles d'essais avec des équipements multiples et à la pointe de la technologie.

Notre offre d'emploi est ouverte à tous, nous souhaitons intégrer nos nouveaux talents au sein d'un environnement de travail inclusif.