

(english version below)

Proposition de sujet de thèse

Développement d'outils de monitoring des réservoirs géothermiques profonds EGS à partir du suivi haute résolution de la micro-sismicité induite et d'approches d'intelligence artificielle

Début : Septembre 2019 (3 ans de financement INERIS/EOST)

Encadrement : J. Kinscher (Ing.. INERIS), E. Klein (Ing. INERIS), O. Lengliné (MCF UdS, EOST), J. Schmittbuhl (DR CNRS, EOST)

Laboratoires d'accueil

- INERIS, Campus ARTEM, 92 rue Sergent Blandan, BP 14234, F-54042 Nancy Cedex, France (rattachement principal)
- EOST, Université de Strasbourg/CNRS, 5 rue René Descartes, 67084 Strasbourg Cedex, France (des périodes de travail à l'EOST)

Mots clés

- géothermie profonde, sismicité induite, intelligence artificielle.

Contexte

La géothermie profonde est une source d'énergie du sous-sol, renouvelable et durable, en plein développement en particulier dans des contextes géologiques où il est nécessaire de développer artificiellement le réservoir profond pour atteindre une rentabilité économique (technologie EGS). Elle représente un secteur important dans la transition énergétique pour une réduction des émissions de carbone et de gaz à effet de serre. Seule une petite partie du potentiel géothermique mondial est aujourd'hui exploitée. De nombreux pays, dont la France, visent à renforcer le développement de cette technologie dans les années à venir. Cependant des freins existent. En effet, comme la plupart des activités souterraines industrielles, l'exploitation géothermique peut entraîner des risques pour les populations et l'environnement qui peuvent aller jusque dans certains cas à l'arrêt temporel ou définitif du projet. L'une des principales difficultés est la sismicité induite dont l'origine n'est pas encore bien comprise, comme l'a démontré, par exemple, le récent événement induit de forte magnitude (M 5.4) à Pohang en Corée du Sud en 2017. La surveillance micro-sismique non seulement des plus grands événements mais surtout du développement des plus petits événements grâce à de nouvelles techniques de détection et de localisation (e.g. template matching, cross-corrélation de formes d'onde, double-différence, traitement d'antenne, etc), est l'une des approches les plus prometteuses pour maîtriser ces risques connexes, et fournir des guides de bonne pratique pour la surveillance ainsi que les lignes directrices de l'évolution de la réglementation qui fait souvent l'objet de controverses.

Objectif de la thèse

L'objectif scientifique de cette thèse est de comprendre l'évolution de la sismicité générée lors de la stimulation et de l'exploitation d'un réservoir géothermique profond en combinant l'analyse sismologique, les données de forçage (injection), des outils d'intelligence artificielle et la modélisation

géologique et géomécanique. Il s'agira au travers des approches développées, testées et appliquées à partir de la base de données du réservoir géothermique de Soultz-Sous-Forêts (Alsace), hébergée à l'EOST (<https://cdgp.u-strasbg.fr/>), de proposer une approche liant sismologie et géomécanique pour comprendre et prédire l'évolution probable des structures identifiées au sein du réservoir pour établir les bases d'un outil prédictif utilisant une approche novatrice d'intelligence artificielle (e.g. TensorFlow), ainsi que des moyens d'aide à l'analyse rapide et à la décision face à une activité microsismique induite et revisiter ainsi les outils de type « Traffic light systems ».

Profil recherché

Master en Geosciences/Geophysique/Physique

Le/la candidat(e) devra être motivé(e) par le traitement massif de données, avoir de bonnes connaissances en sismologie et géomécanique, avoir des compétences en programmation et traitement du signal ainsi qu'un bon niveau d'anglais. Il/Elle pourra partager son temps entre l'INERIS à Nancy et l'EOST à Strasbourg dans le cadre de la collaboration entre les deux institutions.

Candidatures

- A envoyer **avant le 30 juin 2019** à : emmanuelle.klein@ineris.fr ou jean.schmittbuhl@unistra.fr
- Le dossier de candidature doit comporter : un CV détaillé, une lettre de motivation, les relevés de notes des deux années de master et si possible des lettres de recommandation.

Références

Cornet, F. H. (2016). Seismic and aseismic motions generated by fluid injections. *Geomechanics for Energy and the Environment*, 5, 42-54.

DeVries, P. M., Viégas, F., Wattenberg, M., & Meade, B. J. (2018). Deep learning of aftershock patterns following large earthquakes. *Nature*, 560(7720), 632.

Grigoli, F., Cesca, S., Priolo, E., Rinaldi, A. P., Clinton, J. F., Stabile, T. A., ... & Dahm, T. (2017). Current challenges in monitoring, discrimination, and management of induced seismicity related to underground industrial activities: A European perspective. *Reviews of Geophysics*, 55(2), 310-340.

Lengliné, O., Boubacar, M., & Schmittbuhl, J. (2017). Seismicity related to the hydraulic stimulation of GRT1, Rittershoffen, France. *Geophysical Journal International*, 208(3), 1704-1715.

PhD proposal

Development of advanced microseismic monitoring and machine learning tools for enhanced geothermal systems (EGS)

Starting : September 2019 (3 yrs funding INERIS/EOST)

Supervision : J. Kinscher (Ing.. INERIS), E. Klein (Ing. INERIS), O. Lengliné (MCF UdS, EOST), J. Schmittbuhl (DR CNRS, EOST)

Laboratories

- INERIS, Campus ARTEM, 92 rue Sergent Blandan, BP 14234, F-54042 Nancy Cedex, France (main attachment)
- EOST, Université de Strasbourg/CNRS, 5 rue René Descartes, 67084 Strasbourg Cedex, France (working periods at EOST)

Key words

- Enhanced geothermal systems (EGS), induced seismicity, machine learning

Context

Deep geothermal energy is a renewable and sustainable underground energy source in full development, particularly in geological contexts where it is necessary to engineer deep fluid reservoirs to achieve economic profitability (EGS technology). EGS represents an important sector in the energy transition for a reduction in carbon and greenhouse gas emissions. Only a small part of the world's geothermal potential is currently being exploited. Many countries, including France, are aiming to strengthen the development of this technology in the coming years. However, there are obstacles. Indeed, like most underground industrial activities, geothermal exploitation can lead to risks for populations and the environment, which in some cases can lead to the temporary or permanent termination of the project. One of the main hazards is induced seismicity, the origin of which is not yet well understood as demonstrated, for example, by the recent induced high magnitude event (M 5.4) in Pohang, South Korea in 2017. Micro-seismic monitoring not only of the largest events but also of the of the smallest events through new detection and location techniques (e.g. template matching, cross-correlation of waveforms, double-difference, array coherency back projection, etc.), is one of the most promising approaches to controlling these related risks, and provides good-practice guidelines for monitoring and regulatory developments that are often controversial.

Objective of the PhD

The scientific objective of this thesis is to understand the evolution of seismicity generated during the stimulation and operation of a deep geothermal reservoir by combining seismological analysis, forcing (injection) data, artificial intelligence tools and geological and geomechanical modelling. Using the approaches developed, tested and applied to the database of the Soultz-sous-Forêts geothermal reservoir (Alsace), hosted by the EOST (<https://cdgp.u-strasbg.fr/>), the project will use an approach linking seismology and geomechanics to understand and predict the probable evolution of the structures identified within the reservoir and establish the basis of a predictive tool using machine

learning techniques (e.g. TensorFlow). Results of this work may potentially help to improve rapid analysis and decision-making to mitigate induced microseismic activity and thus revisit tools like "Traffic light systems".

Profile

Masters in Geosciences/Geophysics/Physics

The candidate must be interested in big-data processing, have good knowledge of seismology and geomechanics, have programming and signal processing skills and a good level of English. They will be able to split their time between INERIS in Nancy and EOST in Strasbourg as part of the collaboration between the two institutions.

How to apply

- Proposal deadline : **June 30, 2019**
- **To be submitted to** : emmanuelle.klein@ineris.fr or jean.schmittbuhl@unistra.fr
- The proposal should include: a detailed CV, a cover letter, transcripts of the master degree, if possible, recommendation letters.

References

Cornet, F. H. (2016). Seismic and aseismic motions generated by fluid injections. *Geomechanics for Energy and the Environment*, 5, 42-54.

DeVries, P. M., Viégas, F., Wattenberg, M., & Meade, B. J. (2018). Deep learning of aftershock patterns following large earthquakes. *Nature*, 560(7720), 632.

Grigoli, F., Cesca, S., Priolo, E., Rinaldi, A. P., Clinton, J. F., Stabile, T. A., ... & Dahm, T. (2017). Current challenges in monitoring, discrimination, and management of induced seismicity related to underground industrial activities: A European perspective. *Reviews of Geophysics*, 55(2), 310-340.

Lengliné, O., Boubacar, M., & Schmittbuhl, J. (2017). Seismicity related to the hydraulic stimulation of GRT1, Rittershoffen, France. *Geophysical Journal International*, 208(3), 1704-1715.