Sujet de thèse :

SISCO : SISMicité Induite et CONcentration des contraintes dans une zone d'intérêt pour développement de géoréservoirs avec minimisation des risques de sismicité déclenchée.

PhD topic :

SISCO: induced SeISMicity and stress CONcentration in a zone of interest to develop georeservoirs while minimizing triggered seismicity.

Direction : Renaud Toussaint (HDR, DR CNRS, équipe Géophysique Expérimentale - GE) et Marwan Fahs (HDR, MCF ENGEES, Transport et Hydrosystèmes Continentaux – équipe TrHyCo), ITES (Institut Terre et Environnement de Strasbourg, UMR7063 CNRS / Université de Strasbourg / ENGEES).

Contacts : renaud.toussaint@unistra.fr & fahs@unistra.fr

(english version below)

Résumé :

Les recherches porteront sur le développement de techniques d'injection/extraction de fluide en puits pour développement de géoréservoir tout en diminuant le risque de sismicité induite. Les modélisations mécaniques permettront de développer des chemins d'injection en temps focalisant la stimulation d'un réservoir souterrain en vue de développer un espace de séquestration de gaz à effet de serre, de stockage d'hydrogène ou un échangeur géothermique économiquement viable, tout en diminuant les perturbations lointaines, réduisant ainsi le risque de sismicité déclenchée sur des failles régionales.

Mots clés : Transition énergétique, Sismicité anthropogénique, Mitigation des risques induits, gestion de réservoirs géologiques et géothermiques, stockage de chaleur ou hydrogène, séquestration de GES

Descriptif la thèse

L'exploitation anthropique du sous-sol est un enjeu majeur, tant économiquement que du point de vue du développement durable. Que ce soit pour stocker des ressources liquides ou gazeuses, pour séquestrer des gaz à effet de serre, ou pour améliorer la perméabilité d'échangeurs géothermiques, elle implique souvent d'injecter et extraire des fluides.

Ces injections et extractions peuvent provoquer dans de nombreux contextes tectoniques une sismicité induite, et/ou une sismicité déclenchée sur des failles éloignées des puits mais mécaniquement chargées proche de seuils critique. Par exemple, des questions se posent lorsqu'une crise sismique a lieu dans une région où a lieu la stimulation d'un échangeur géothermique, ou lorsque les conditions d'exploitation d'un réservoir ou un puits doivent être définies en s'assurant de minimiser la sismicité déclenchée.

La prise en compte de la diffusion de surpression ou dépression créée par un pompage permet de calculer l'évolution de la contrainte effective sur les failles identifiées, et évaluer l'évolution de l'aléa sismique.

On s'intéressera dans cette thèse à deux volets : la manière dont une injection en puits peut ou non provoquer une crise sismique sur une faille mécaniquement chargée, ou la manière dont on peut contrôler des cycles d'injection et extraction pour concentrer les contraintes dans une zone où développer un réservoir avec de bonnes propriétés hydrauliques, tout en limitant les contraintes sur les failles régionales instables pour limiter le risque de sismicité déclenchée. On peut aussi explorer la manière de décharger mécaniquement une faille de manière asismique. Ceci sera fait à l'aide de codes numériques de modèles poroélastiques couplés à une loi de friction sur les failles. Le modèle numérique sera calibré par comparaison avec des expériences de laboratoire sur des milieux poreux chargés mécaniquement, soumis à des cycles d'injection et extraction. Une fois le modèle validé et les paramètres de ce modèle calibré, il sera mis à l'échelle et utilisé sur des situations réalistes à l'échelle plurikilométrique, et confronté à des données acquises durant des crises de sismicité induite et déclenchée.

Lors des expériences de laboratoire, on suivra les déformations à l'aide de caméra rapide en milieu transparent (cellule de Hele-Shaw) chargée sous cisaillement, par traitement numérique et suivi de particules. Les données microsismiques seront enregistrées à l'aide d'une chaîne d'acquisition numérique et d'antennes d'accéléromètres de choc. Les cycles d'injection et extraction devraient pouvoir permettre de stabiliser l'interface glissante en augmentant la contrainte effective normale en extrayant tout d'abord du fluide, puis de déclencher le glissement en injectant du fluide dans la zone globalement stabilisée en champ lointain par la diffusion de la précédente baisse de pression de pore créée. On explorera systématiquement les paramètres de perméabilité, charge cisailante et charge normale, amplitude et période des cycles d'injection et extraction.

Les résultats seront comparés aux codes couplés de poroélasticité / friction déjà développés par l'équipe proposante.

Ces codes seront ensuite utilisés sur cas réels, notamment sur la région autour de Strasbourg où des crises de sismicité et de la stimulation géothermique ont eu lieu fin 2019, ainsi que sur des données bien documentées, étudiées et connues de par le monde, telles que la sismicité induite dans l'Oklahoma, USA.

PhD topic :

SISCO: induced Seismicity and stress COncentration in a zone of interest to develop georeservoirs while minimizing triggered seismicity.

Direction : Renaud Toussaint (HDR, DR CNRS - Research Prof, Experimental Geophysics team -GE) and Marwan Fahs (HDR, MCF ENGEES – Associate Prof., Transport in Continental Hydrosystems team - TrHyCo), ITES (Institut Terre et Environnement de Strasbourg, Institute for Earth and Environment of Strasbourg, UMR7063 CNRS / University of Strasbourg / ENGEES).

Contacts : renaud.toussaint@unistra.fr & fahs@unistra.fr

Abstract :

The research topic is focused on the development of injection/extraction techniques of fluids in wells in order to develop a georeservoir while minimizing risks of induced seismicity. Modelling in geomechanics will allow to define mechanical paths of time-dependent injection rates that will allow to focus the stimulation of an underground reservoir. This is used to increase the permeability and storage capacity of georeservoirs e.g. for water or greenhouse gas sequestration, hydrogen storage or economically viable heat exchangers for geothermy. The paths computed will allow to minimize distant stress perturbations, reducing the risk of triggering seismicity on nearby regional faults.

Keywords : Energetic Transition, Anthropogenic seismicity, Mitigation of induced risks, Handling of geologic and geothermal reservoirs, underground storage of heat, fluids or hydrogen, Greenhouse Gas Sequestration

Description of the PhD topic

Anthropic exploitation of the underground is a major issue, both economically and regarding sustainable development. It often implies to inject liquid, whether to store liquid or gaseous resources, to sequester greenhouse gases, or to increase the permeability of underground rock formations to improve heat exchange.

These injections and extraction can in many tectonic stress situation induce seismicity, and or trigger seismicity on faults at some distance of the well, already loaded close to critical thresholds. For example, some questions arise when a seismic crisis happens in a region

where a geothermal reservoir is stimulated, or when the conditions of exploitation of a reservoir or well have to be defined while guaranteeing to minimize triggered seismicity. Accounting for the diffusion of an overpressure or depressurization created by pumping allows to compute the evolution of effective stress on the identified faults, and evaluate the evolution of seismic hazard.

In this PhD, two topics will be developed:

The first topic is the way in which an injection in a well can or cannot cause a seismic crises on a loaded fault, and the way in which one can control cycles of injection and extraction in order to concentrate the effective stress in a zone where a reservoir has to be developed with suitable hydraulic properties, while limiting the stress perturbations on potentially instable regional faults in order to minimize the risk of triggered seismicity.

The second topic is the way in which one can mechanically unload a fault in an aseismic way by utilizing cycles of injection and extraction. This will be done using numerical codes of poroelastic models coupled to a friction law on the faults. The numerical model will be calibrated by comparing its results with laboratory experiments on mechanically loaded porous media submitted to cycles of injection and extraction of fluid. Once the model is validated and the model parameters calibrated, the model will be upscaled and used for realistic situations at plurimetric or plurikilometric scale, and confronted to data acquired during crisis of induced or triggered seismicity.

During laboratory experiments, deformations will be followed by fast camera in transparent media (Hele-Shaw cells) loaded under shear, using image treatment and particle tracking methods. Microseismic data will be recorded using a numerical data acquisition chain and arrays of shock accelerometers. The injection/extraction cycles will allow to stabilize the interface sliding, first increasing the normal effective stress by extracting fluid, and later triggering slip by injecting fluid. This slip will occur in a zone of reduced size, bounded by the stabilized zone where the lower pore pressure has diffused. An exploration of the behavior will be done as a function of the parameters: permeability, shear stress and normal stress, amplitude and period of the injection/extraction cycles.

The experimental results will be compared to the numerical codes coupling poroelasticity and friction already developed by the team.

These codes will next be used on real large-scale cases, such as the region around Strasbourg where seismicity crisis and geothermal stimulations occurred at the end of 2019. They will also be compared to well documented cases, such as the induced seismicity occurring in Oklahoma, USA.