



Séance technique CFMR

La mécanique des roches et la transition énergétique

Organisée par la Commission CFMR_Jeunes

Jeudi 28 mai 2020 à 14h00 (en visioconférence)

- 14h00 Accueil et informations du CFMR par Jean Sulem, Président du CFMR
- 14h10 Présentation de la Commission CFMR_Jeunes et introduction à la séance
- 14h25 Tunnels énergétiques : opportunités, enjeux et perspectives
Alessandra Insana (Politecnico di Torino, Ecole des Ponts ParisTech)
- 14h55 La géothermie profonde : un lieu de rencontre pour la mécanique des roches et la transition énergétique
Alexandra Kushnir (LabEx G-eau-thermie Profonde, Université de Strasbourg)
- Pause
- 15h40 Le stockage souterrain d'énergie électrique : quelle solution technique pour quel usage ?
Arnaud Réveillère (Geostock, France)
- 16h10 La caractérisation géomécanique des sites de stockage géologique de CO₂ en mer du Nord
Luke Griffiths (Norwegian Geotechnical Institute)
- 16h40 Enjeux de l'industrie pétrolière face à la transition énergétique – Rôle de la Géomécanique
Patrick Amiell, Sandrine Vidal-Gilbert (Total, France)
- 17h10 Discussion
- 17h30 Fin de la séance



Tunnels énergétiques : opportunités, enjeux et perspectives

Alessandra Insana

Politecnico di Torino, Ecole des Ponts ParisTech

L'ère actuelle incarne un point de décision critique pour l'humanité qui doit rendre compte des impacts négatifs des choix énergétiques passés. Pour marquer un virage et façonner l'avenir de l'énergie, il faut accélérer la transition vers des ressources décarbonées et renouvelables. Dans ce cadre, la géothermie peut apporter une contribution majeure et a connu, ces dernières années, des développements technologiques innovants et efficaces pour capter la chaleur de la Terre enfouie à de faibles profondeurs, en particulier pour les géostructures énergétiques. Transformer une géostructure, c'est-à-dire des fondations, des revêtements de tunnel, des murs, en un système d'extraction et de stockage de chaleur, présente des défis inédits et des questions non résolues.

Cette présentation vise à introduire une technologie à double usage qui couple les rôles de support structurel et d'approvisionnement énergétique, pour une application aux tunnels énergétiques, avec un intérêt particulier pour les performances thermiques et structurelles. Les tunnels énergétiques impliquent la coexistence de charges mécaniques et thermiques, qui provoquent des altérations cycliques saisonnières de la température, des sollicitations et des modes de déformation dans le sol environnant et dans le revêtement lui-même qui doivent être pris en compte lors de l'analyse et de la conception. La charge thermique supplémentaire étant l'essence de toutes les géostructures énergétiques, la stabilité structurelle nécessaire du revêtement du tunnel ne peut en aucun cas être compromise.

Dans ce cadre on décrira l'étude expérimentale accomplie à Turin qui a vu l'implémentation d'un prototype en vraie grandeur pendant la construction de l'Extension Sud de la Ligne 1 de Métro. Cela a permis de mettre en pratique le concept Enertun définissant un nouveau tracé des réseaux de tuyaux géothermiques et de compléter une campagne expérimentale approfondie. Ensuite, on présentera le travail de modélisation numérique thermo-hydraulique et thermo-mécanique et on formulera un schéma procédural à utiliser en pratique dans la conception. Enfin, les perspectives offertes par cette technologie à l'échelle urbaine et des tunnel profonds (comme, par exemple, les tunnels Alpains) seront énoncées.

La géothermie profonde : un lieu de rencontre pour la mécanique des roches et la transition énergétique

Alexandra Kushnir

LabEx G-eau-thermie Profonde, Université de Strasbourg

Les géosciences sont prêtes à contribuer de manière significative à la transition vers une économie bas carbone. Le secteur de la géothermie profonde, en particulier, a le potentiel de jouer un rôle décisif dans la transition mondiale aux énergies renouvelables. En effet, il existe une longue histoire d'exploitation de l'énergie géothermique en Europe. Le succès technique de plusieurs projets dans le fossé rhénan (par exemple à Soultz-sous-Forêts et Rittershoffen en France et à Insheim en Allemagne) et la démonstration de la viabilité économique de ces types de projets dans le Bassin de Paris et dans le Bassin de la Molasse ont favorisé l'intégration de l'énergie géothermique dans les stratégies bas carbone municipales, nationales et européennes. D'un point de vue technique, ces efforts européens ont montré que la production d'énergie géothermique peut être réalisée dans des roches profondes et initialement faible en perméabilité, élargissant la zone géographique dans laquelle l'exploitation de l'énergie géothermique est possible.



Cependant, l'exploitation de l'énergie géothermique reste complexe et nécessite la participation de scientifiques et d'industries de divers domaines, dont la mécanique des roches et la physique des roches. La caractérisation physique et mécanique des roches réservoirs, en particulier, devient de plus en plus critique à mesure que le secteur de la géothermie profonde explore les moyens de stimuler les réservoirs à faible perméabilité. En effet, dans ces systèmes géothermiques améliorés (Enhanced Geothermal Systems, EGS), les réservoirs nécessitent une ingénierie - en utilisant, par exemple, une stimulation hydraulique et / ou chimique qui cible les systèmes de fracture partiellement scellés - pour augmenter la perméabilité globale du système. Nous nous concentrons ici sur les contributions récentes de la mécanique des roches qui traitent de l'efficacité de la réactivation mécanique et chimique des systèmes de fracture scellés et discutons des défis persistants à la caractérisation et à l'ingénierie de ces systèmes.

Le stockage souterrain d'énergie électrique : quelle solution technique pour quel usage ?

Arnaud Réveillère
Geostock

Le stockage d'énergie décarbonnée est l'une des flexibilités qui permet d'accompagner l'augmentation de la part des énergies renouvelables intermittentes dans le mix de production électrique, aux côtés d'une meilleure interconnexion des réseaux, de capacités de production de pointe additionnelles ou des mécanismes d'effacement.

Diverses formes de stockage d'énergie électrique sont aujourd'hui disponibles, dont deux essentiellement font appel au milieu géologique : le stockage d'hydrogène et le stockage d'air comprimé (ou « CAES ») en cavité saline. Les cavités salines sont utilisées pour stocker de l'hydrogène depuis 1972 (à Teeside, au Royaume-Uni), et pour du stockage d'air comprimé depuis 1978 (à Huntorf, en Allemagne). Profitant de forts transferts de savoir-faire industriels et scientifiques depuis l'industrie du stockage souterrain d'hydrocarbures, ces deux technologies sont aujourd'hui matures, sûres et compétitives pour du stockage saisonnier (hydrogène) ou journalier (CAES). Elles sont en effet complémentaires pour répondre aux besoins de stockage de demain, leur structure de coût orientant le stockage d'air comprimé vers les stockages courts et le stockage d'hydrogène vers les durées plus longues.

Caractérisation géomécanique des sites de stockage géologique de CO₂ en mer du Nord

Luke Griffiths
Norwegian Geotechnical Institute

Le rapport spécial de l'IPCC souligne que pour limiter le réchauffement climatique à une augmentation de 1.5 °C, il faudrait compléter une transition énergétique par de nombreuses technologies de réduction d'émissions, dont la capture et le stockage du CO₂ (CCS). En particulier, la séquestration géologique du CO₂ pourrait réduire considérablement les émissions dans l'atmosphère, et le premier projet de démonstration de stockage de CO₂ à grande échelle, 'Northern Lights', est en cours en Norvège.



Pour les sites de stockage géologique de CO₂—composés d'une roche réservoir à haute porosité et haute perméabilité en dessous d'une roche de couverture de faible perméabilité—une surveillance géophysique et une évaluation régulière des risques sont nécessaires pour maximiser l'injection de CO₂, tout en empêchant l'activation de failles et une éventuelle fuite. En effet, les changements de pression et de température dus à l'injection de CO₂ pourraient provoquer le glissement de failles à l'intérieur et autour du réservoir, accompagné par une activité micro-sismique détectable. La surveillance micro-sismique permettrait d'observer la déformation du réservoir et peut aider à contraindre les modèles géomécaniques grâce à une meilleure compréhension de la localisation des failles et de leurs géométries, ainsi que les contraintes et pressions *in situ*.

Pour évaluer l'efficacité de la micro-sismique comme outil de surveillance, dans le cadre du projet IGCCS (Induced-seismicity Geomechanics for Controlled CO₂ Storage in the North Sea : CLIMIT KPN 268520/E20), nous avons mené une étude comprenant des simulations numériques de la réponse géomécanique du réservoir à l'injection, et une suite d'essais triaxiaux sous les conditions de contraintes au niveau du réservoir. Les essais ont été menés sur des échantillons de roches réservoirs et de couverture venant des sites de stockage potentiels en mer du Nord, ainsi que sur des roches analogues. Ces essais nous ont permis (1) d'établir des modèles géomécaniques pour ces matériaux et les failles, et (2) de tester au laboratoire les techniques d'inversion des contraintes locales aux failles grâce aux données micro-sismiques. Nos résultats suggèrent qu'en raison de l'injection de CO₂, nous pourrions nous attendre à ce que peu d'activité micro-sismique provienne de la couverture, mais que la surveillance micro-sismique pourrait donner un aperçu des changements géomécaniques dans le réservoir même.