

Sujet de thèse Univ Gustave Eiffel/ANDRA

Modélisation et simulation du transport d'hydrogène et de l'endommagement des roches argileuses

Contexte

Dans le contexte du stockage des déchets radioactifs, l'excavation des galeries entraîne une redistribution des contraintes et de la pression interstitielle, susceptible de provoquer la formation de fissures et de fractures à proximité immédiate des cavités, en particulier dans les roches argileuses. Ce phénomène conduit à la formation d'une zone endommagée par l'excavation (EDZ), caractérisée par des modifications significatives des propriétés hydromécaniques de la roche. Par ailleurs, la formation argileuse profonde présente également un comportement différent, contrôlé essentiellement par le fluage.

En plus de la présence d'eau souterraine, après la fermeture du stockage de l'enceinte, une augmentation de la pression de gaz, majoritairement de l'hydrogène produit par la corrosion anoxique des métaux (déchets, matériaux de confinement, armatures métalliques), pouvant atteindre plusieurs MPa, est observée. La formation de la zone endommagée autour des ouvrages et son évolution dans le temps, notamment lors de la montée en pression du gaz, sont des processus qu'il est important de bien modéliser pour démontrer l'intégrité du stockage sur des durées de plusieurs milliers d'années.

Objectifs

L'objectif de cette thèse est de modéliser la formation et l'évolution des fissures autour des galeries de stockage des déchets radioactifs, depuis la phase d'excavation jusqu'à la phase post-fermeture.

Une approche de modélisation et de simulation numérique, fondée sur le comportement poromécanique (hydromécanique) non linéaire des milieux fracturés biphasiques, sera adoptée. Cette approche prendra en compte l'endommagement (via la méthode des champs de phase), la plasticité et l'évolution de la perméabilité en fonction de l'endommagement. L'évolution de l'état de déformation de la roche des galeries de stockage aux différentes phases — excavation, exploitation et après-fermeture — sera simulée. Juste après la fermeture du stockage, la ventilation sera arrêtée et la resaturation de l'EDZ aura lieu. La combinaison entre la resaturation et la consolidation mécanique de l'EDZ par le revêtement/soutènement entraîne le phénomène d'auto-colmatage des fractures. Ce phénomène sera considéré dans la simulation afin d'évaluer précisément le comportement de la zone fracturée face à la production d'hydrogène.

Travail attendu et résultats

Le laboratoire MSME <https://msme.univ-gustave-eiffel.fr/> est reconnu depuis plusieurs années dans le domaine de la modélisation et de la simulation numérique du comportement des matériaux. Des outils et des codes de calcul avancés pour la simulation de la fissuration, basés sur la méthode des éléments finis (FEM) et la transformation de Fourier rapide (FFT), y ont été développés. Dans le cadre de cette thèse, les travaux suivants sont envisagés :

- Développement d'un modèle de fissuration couplant poroélasticité, plasticité, viscoplasticité et, possiblement, frottement en cisaillement. Mise en œuvre dans des codes de simulation numérique maison, benchmark et comparaison de différentes méthodes.
- Phase d'excavation et d'exploitation. Construction d'un modèle de la galerie et des roches et simulation du comportement élasto-viscoplastique endommageable (modèle de champs de phase) et du transport biphasique (eau et hydrogène). Étude quantitative de l'évolution des réseaux de fissures dans la roche et de la perméabilité.
- Phase après fermeture. Simulation du couplage hydromécanique-gaz, en particulier de l'effet du transport de l'hydrogène dans le milieu fissuré sur l'évolution de l'EDZ.

Profil recherché

Le (la) candidat(e) devra être titulaire d'un diplôme de master recherche ou équivalent en date de démarrage de la thèse. De solides connaissances en mécanique des solides sont demandées, ainsi qu'en simulation numérique avec expériences en programmation. Des connaissances en modélisation de l'endommagement et de la fissuration seront appréciées.

Rémunération : Le (la) doctorant(e) sera salarié(e) de l'ANDRA.

Lieu de la thèse

La thèse se déroulera au laboratoire MSME, Université Gustave Eiffel, site de Marne-la-Vallée, 5 Bd Descartes 77454 Marne-la-Vallée Cedex 2, France. Des visites ponctuelles à l'ANDRA, 1 Rue Jean Monnet, 92290 Châtenay-Malabry (siège social) et le Laboratoire Souterrain ; Bure 55290 - Route départementale 960, seront organisées.

Date de démarrage de la thèse : Un démarrage en octobre 2026 est prévu.

Encadrement

Quy-Dong To, Maitre de conférences HDR, Université Gustave Eiffel, MSME

Julien Yvonnet, Professeur des universités, Université Gustave Eiffel, MSME

Vu Minh Ngoc, ANDRA

Jean Talendier, ANDRA

Eléments du dossier à fournir

- Un CV récent
- Les relevés de notes les plus récents (M1/M2 ou équivalent)
- Une lettre de recommandation, si possible du tuteur de stage de M2/projet fin d'étude, ou d'un responsable de formation
- Envoyer les éléments en un seul dossier à guy-dong.to@univ-eiffel.fr