

OFFRE DE THESE

Apport d'une approche discontinue dans l'étude de l'évolution spatio-temporelle de l'EDZ soumise à des sollicitations hydraulique (H) ou gazeuse (G) et mécanique (M) : Application aux ouvrages de fermeture du centre de stockage Cigéo

Nos réf. : Ineris 228203 - ID 2790180

CONTEXTE ET MOTIVATIONS DE LA THESE

La fracturation (induite et/ou préexistante) des milieux rocheux soulève des enjeux importants d'intégrité, de performance et de sécurité dans de nombreux contextes d'exploitation du sous-sol, tels que l'exploitation minière, les stockages souterrains ou encore la géothermie profonde. On s'intéressera dans le cadre de ces recherches, aux ouvrages de fermeture construits par l'Andra au sein du laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne (LS M/HM) dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien (COx). Les travaux de la thèse s'appuieront sur les nombreuses observations et mesures in situ (pression de pore, convergence, expansion de la roche, fracturation induite communément appelée EDZ ou Extent of Damaged Zone, vitesses d'ondes, etc..) réalisées en continu depuis plus de 10 ans au LS M/HM. De nombreuses modélisations numériques (essentiellement par approche continue avec des modèles de comportement couplés thermo-hydro-mécanique des argilites du COx) en constant enrichissement depuis 2000 pour tenir compte des avancées scientifiques relatives au comportement de cette roche hôte, ont permis de reproduire certaines de ces observations in situ (Manica et al. 2022, Souley et al. 2023, à titre d'exemple). Elles ne permettent cependant pas de reproduire de manière satisfaisante la géométrie et la topologie de la fracturation induite par le creusement des ouvrages du LS M/HM (dont un modèle conceptuel a été proposé par Armand et al. 2014, cf. Fig. 1), son évolution dans le temps, et par conséquent les mécanismes de transports susceptibles de se produire au sein de l'EDZ à moyen et long termes. Par ailleurs, le comportement et l'évolution dans le temps de cet EDZ conditionne, d'une part, le comportement des autres composants du stockage (soutènement, revêtement, etc.) et, d'autre part, le comportement hydromécanique dans le temps de la zone en champ proche ainsi que la circulation d'un fluide (liquide et/ou gazeux).

OBJECTIF DE LA THESE

Comme alternative à ces modélisations, l'approche de pré-fracturation préalable autour des galeries avec une activation des fractures de la paroi vers le massif sain a été investiguée et son application à certains ouvrages du LS M/HM semble prometteuse (Camusso et al. 2022, Thoraval 2023).

L'objectif de cette thèse est d'approfondir cette méthodologie et d'analyser, à l'aide de modélisations numériques 3D, cette fracturation induite et son évolution dans le temps (ou sous l'effet de sollicitations HG-M). L'idée principale est de consolider les travaux préliminaires relatifs à l'approche de pré-fracturation, et de valider la méthodologie mise au point sur des ouvrages type du LS M/HM. Dans le cadre de cette thèse, la méthodologie de modélisation utilisera une approche discontinue ou mixte (couplant approches discontinues et continues) si nécessaire. L'impact de cette fracturation sur les sollicitations induites au niveau des composants structuraux cimentaires des ouvrages de Cigéo à court et moyen termes, sera évalué. Dans un second temps, on étudiera l'impact d'une sollicitation hydraulique et/ou au gaz sur l'activation et la propagation de la fracturation en s'appuyant sur les données expérimentales disponibles de l'Andra. A chaque étape, les résultats de modélisation seront

confrontés aux observations et aux mesures in situ du LS M/HM. D'un point de vue rhéologique, la thèse portera sur le comportement fortement non linéaire à court et long termes aussi bien pour la roche intacte que pour les fractures induites. Le candidat sera amené à améliorer certaines relations constitutives et de les implémenter dans le code de calcul retenu. Il s'agit, entre autres, de la régularisation du comportement élastoplastique radoucissant de la matrice intacte pour laquelle le critère de Hoek-Brown est bien adapté pour approcher la limite élastique, la résistance au pic et la résistance résiduelle des argilites du COx (Référentiel Géologique de l'Andra, Souley et al. 2017, Itasca900).

N.B. Un stage de M2 est proposé en préparation et lancement du sujet.

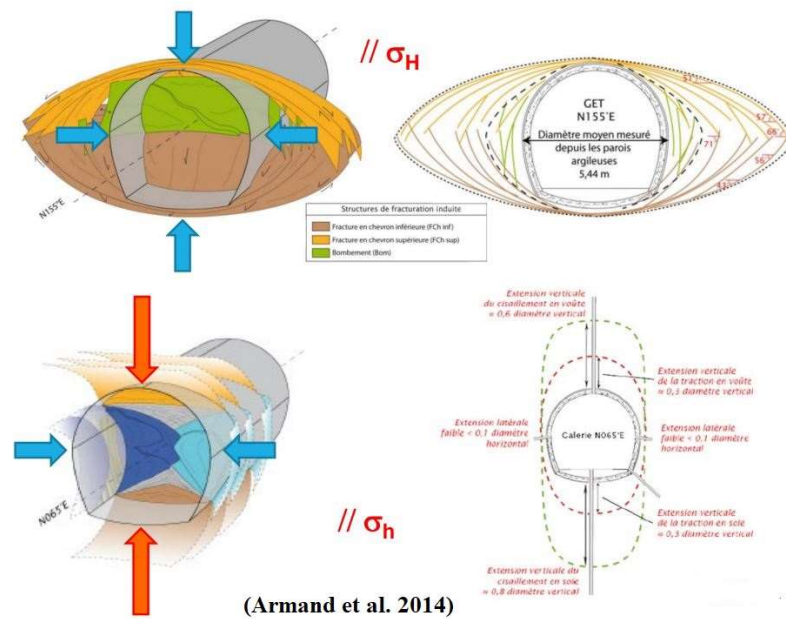


Fig. 1 – Géométrie de la fracturation induite autour des ouvrages du LS M/HM : Gauche = fracturation observée in situ ; Droite = modèle conceptuel proposé par Armand et al. (2014) ; Haut = galeries parallèles à la contrainte horizontale majeure ; Bas = galeries parallèles à la contrainte horizontale mineure.

REFERENCES

Armand G, Leveau F, Nussbaum C, de La Vaissiere R, Noiret A, Jaeggi D, Landrein P, Righini C (2014) Geometry and properties of the excavation induced fractures at the Meuse/Haute-Marne URL drifts. *Rock Mech Rock Eng* 47(1):21–41. <https://doi.org/10.1007/s00603-012-0339-6>

Camusso M., H. Tran-Manh, D. Billaux, M.N. Vu, O. Ozanam (2022) - CIGEO project - Analysis of ILW-LL repository tunnel long term behavior. *Clay2022 Conf. Nancy, June 2022*

Itasca900 - Itasca Software 9.0 - documentation

Mánica MA, Gens A, Vaunat J, Armand G, Vu MN (2022) Numerical simulation of underground excavations in an indurated clay using non-local regularisation. Part 1: formulation and base case. *Geotechnique* 72(12):1092–1112

Souley M, Armand G, Kazmierczak J-B (2017) Hydro-elastoviscoplastic modeling of a drift at the Meuse/Haute-Marne underground research laboratory (URL). *Comput Geotech* 85(2017):306–320

Souley, M, E.-D. Coarita-Tintaya, M.-N. Vu, F. Golfier, G. Armand, M. Laviña, A. Idiart (2023). A regularised anisotropic elastoplastic, damage and viscoplastic model and its hydromechanical application to a Meuse/Haute-Marne URL drift. *Rock Mech Rock Eng.* <https://doi.org/10.1007/s00603-023-03563-1>

Thoraval A. (2023) Modélisation discontinue préliminaire du comportement de l'argilite à Court et Moyen/Long Terme. *Rapport d'Etude, Ref. Ineris-208805-277018*

LIEU DE LA THESE

Le projet de thèse est construit et géré par quatre entités : Ineris, Ecole Doctorale, Andra et Itasca. Le doctorant sera localisé à l'Ineris, à Nancy (Ecole des Mines), et travaillera avec l'Université de l'Ecole Doctorale pour environ 15% de son temps. Des visites de travail à l'Andra (LS M-HM) et Itasca (France) sont à prévoir.

L'Ineris est né en 1990 de la fusion du Centre français d'études et de recherches des charbonnages (Cerchar) et de l'Institut de recherche chimique appliquée (Ircha). L'Institut a pour mission de contribuer à la prévention des risques causés par les activités économiques à la santé, à l'environnement et à la sécurité des personnes et des biens.

Les travaux de thèse s'accompliront à l'unité Risques Naturels Ouvrages et Stockages de l'Ineris, au sein d'une équipe de modélisation THMC traitant des lois de comportement des matériaux jusqu'aux applications au dimensionnement des ouvrages, en milieux continus et discontinus.

PROFIL DU CANDIDAT

Le(la) candidat(e) est titulaire d'un Master 2 et/ou d'un diplôme d'Ingénieur en Géosciences, avec une mention et une base solide en mécanique des milieux continus, géomécanique et transferts en milieux poreux fracturés. Il/elle aime la modélisation et les développements numériques pour apporter une compréhension approfondie sur les mécanismes mis en jeu dans l'EDZ sous sollicitations. Il/elle a un très bon niveau d'anglais. Il/elle a une capacité à prendre des initiatives, à travailler dans une équipe collaborative et à échanger des résultats avec les partenaires impliqués dans le projet, à la fois oralement et par écrit.

INFORMATION GENERALE

Démarrage : Septembre/Octobre 2024

Durée : 3 ans

Salaire brut (thèse Andra) : environ 2200 € / mois

Type de contrat : CDD

Sous réserve d'acceptation de la candidature par l'Andra (audition prévue courant mai 2024).

DOSSIER DE CANDIDATURE

Le dossier de candidature doit comporter : un curriculum vitae, les copies des certificats de chaque diplôme universitaire et les notes obtenues, une lettre décrivant votre motivation et votre intérêt à travailler sur le sujet proposé et toute lettre de recommandation de vos enseignants et/ou encadrants. La demande doit être reçue avant le 1/04/2024

ENCADREMENT / CONTACT

Co-encadrement : Université de Lorraine (Laboratoire de GéoRessources), Andra et Itasca

Contact : M. Souley

Ineris - Campus ARTEM - Ecole des Mines de Nancy,

CS 14234 F-54042 Nancy Cedex

Tel: +33 (0)3 54 40 66 33, Email: Mountaka.Souley@ineris.fr

Ce poste est ouvert aux personnes en situation de handicap.