

OFFRE DE THÈSE

ANALYSE DU COMPORTEMENT DES CAVITÉS MINÉES REVÊTUES SOUS CHARGEMENTS CYCLIQUES ET ALÉAS NATURELS : MAÎTRISE DES RISQUES DE STOCKAGE D'HYDROGÈNE GAZEUX

Type de contrat : Contrat doctoral de droit privé

Début de la thèse : Octobre 2025

Localisation : Verneuil-en-Halatte (60) à 40 mn au nord de Paris.

Accès : Une navette privée et gratuite assurant la liaison entre la gare de Creil et notre site est à votre disposition.

Télétravail : 100 jours par an

Contacts pour plus d'informations : hippolyte.djizanne@ineris.fr – 03 44 55 65 61

CONTEXTE

L'Ineris (Institut national pour l'environnement industriel et des risques), qui compte environ 500 collaborateurs, est un organisme national de référence, sous tutelle du ministère chargé de l'environnement, dont la mission principale est de réaliser des études et des recherches permettant de prévenir les risques que les activités économiques font peser sur la sécurité des personnes et des biens.

Rejoindre l'Ineris c'est l'opportunité de mettre en œuvre et développer ses compétences dans le cadre des missions de recherches, d'appui et d'expertise pour le compte des pouvoirs publics et des industriels. L'Ineris dispose de 30 000 m² de laboratoires et halles d'essais avec des équipements multiples et à la pointe de la technologie.

CONTEXTE ET OBJECTIFS DE LA THÈSE

La demande croissante de stockage d'hydrogène à grande échelle pour soutenir la transition énergétique nécessite des solutions innovantes de stockage souterrain. Les cavités minées revêtues ou *Lined Rock Cavern (LRC)* représentent une option prometteuse pour le stockage d'hydrogène gazeux. Cependant, garantir la sécurité et l'intégrité de ces installations de stockage requiert une compréhension approfondie du comportement géomécanique de la

roche environnante sous des sollicitations cycliques de pression et de température ainsi que face à des aléas naturels comme les séismes et d'autres scénarios de risques industriels majeurs.

Cette thèse de doctorat vise à étudier le comportement géomécanique de la roche environnante des cavités minées revêtues (LRC), à travers la modélisation de la distribution des contraintes au sein du chemisage acier et de la roche environnante, et à évaluer les risques associés afin d'améliorer la sécurité et l'intégrité du stockage d'hydrogène.

Les travaux de recherche consisteront en une modélisation théorique et numérique des processus. Après un inventaire des différents phénomènes Thermo-Hydro-Mécaniques (THM) susceptibles de se produire autour de la LRC et dans ses composants de revêtement (couches de béton et d'acier), des études bibliographiques seront menées pour déterminer les lois de comportement de ces phénomènes et leurs modèles de couplage. Des analyses préliminaires permettront d'identifier les phénomènes dominants du point de vue de la fissuration, des dommages et de la fatigue des différents composants et, plus généralement, du point de vue de l'intégrité du stockage.

La modélisation numérique tiendra compte de ces phénomènes dominants dans la caractérisation de la roche environnante et des composants du revêtement. Pour les processus THM couplés dans les matériaux et structures, cette modélisation pourra être réalisée à l'aide d'un code de calcul par éléments finis (FEM) capable d'intégrer la présence de discontinuités telles que fissures, fractures et interfaces. L'analyse numérique devra permettre de déterminer les risques encourus par la LRC ainsi que son intégrité à court et long terme sous différentes sollicitations THM rencontrées lors des opérations de stockage d'hydrogène ainsi que dans le cas de sollicitations dynamiques dues aux séismes.

Les travaux porteront notamment sur :

- La caractérisation de la réponse du massif rocheux aux charges cycliques et aux fluctuations thermiques,
- L'étude de l'impact de la pression de l'eau dans le massif rocheux,
- L'utilisation du logiciel FEM pour modéliser les contraintes dans la gaine en acier en considérant différentes géométries, lithologies et scénarios de chargement,
- La modélisation de la fatigue et de la propagation des fissures dans la gaine en béton et la formation rocheuse adjacente,
- L'évaluation des risques liés aux séismes, en particulier sur les lignes de connexion et les puits,
- La proposition d'améliorations de conception et de recommandations opérationnelles pour minimiser les risques.

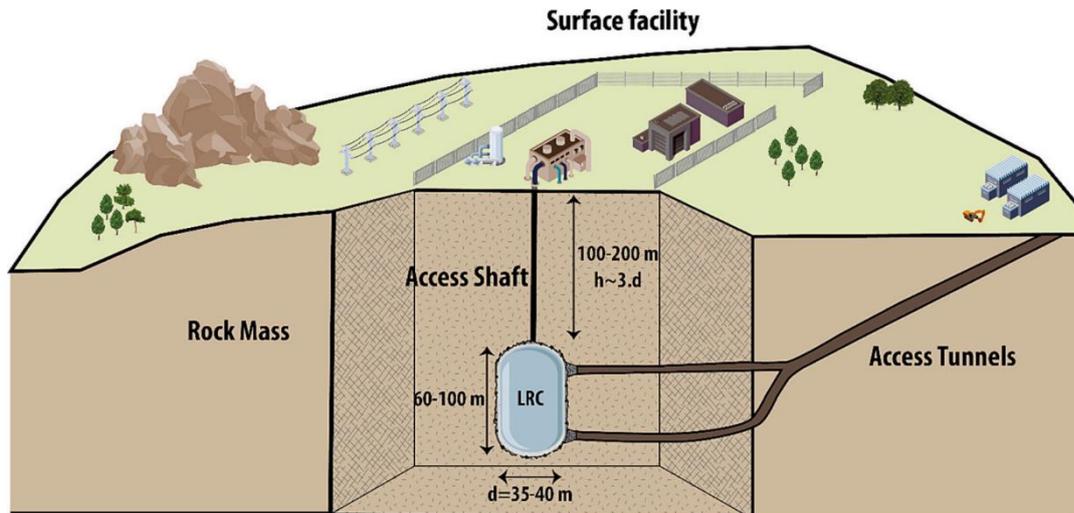


Figure 1. Composants essentiels d'un système de cavités minées revêtues conçu pour le stockage d'hydrogène gazeux (Masoudi et al., 2024).

CONTRIBUTION ATTENDUE

- Amélioration de la compréhension du comportement du massif rocheux sous conditions cycliques de stockage d'hydrogène.
- Quantification des risques associés à la fragilisation par l'hydrogène, à la propagation des fissures et aux événements sismiques.
- Développement de modèles améliorés de propagation des fissures par fatigue dans les revêtements en acier et en béton sous chargements cycliques.
- Recommandations pour des conceptions de cavités minées revêtues (LRC) plus sûres et plus efficaces pour le stockage d'hydrogène.

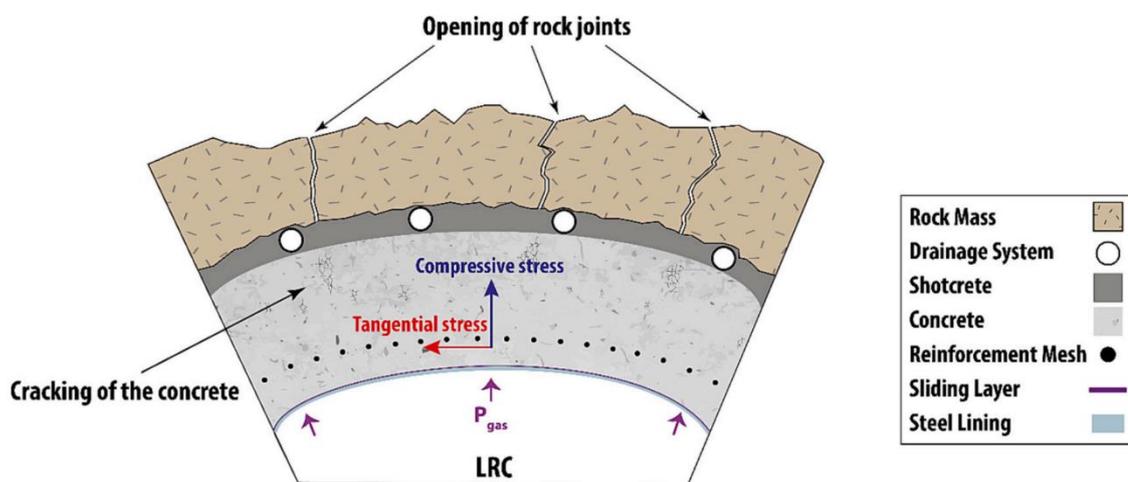


Figure 2. Schéma de propagation possible des fissures dans les LRC (Masoudi et al., 2024)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Masoudi, M., Hassanpouryouzband, A., Hellevang, H. & Haszeldine, R. S. (2024). Lined rock caverns: A hydrogen storage solution.
- Sharma, I.V. & Badry, P. (2018) Analysis of Underground Lined Rock Cavern. International Journal of Engineering & Technology, 7 (3.35) (2018) 65-67.
- Pouya, A. & Bemani Yazdi, P., A damage-plasticity model for cohesive fractures (2015) Int. J. Rock Mechanics & Mining Sciences 73(2015)194-202.
- Lee, D.-H., Lee, H.-S., Kim, H.-Y., & Gatelier N., Measurements and analysis of rock mass responses around a pilot lined rock cavern for LNG underground storage, in: ISRM EUROCK; ISRM, 2005 p ISRM-EUROCK.

PROFIL

- Bac +5 – Cette offre de thèse s'adresse aux diplômés d'un Master recherche en Géomécanique.
- Le candidat doit avoir une solide formation en géomécanique, mécanique des roches ou dans un domaine connexe.
- Une maîtrise des outils de modélisation et de simulation numérique, en particulier pour les analyses thermo-hydro-mécaniques (THM), est essentielle.
- Une connaissance des concepts de stockage massif d'hydrogène et de la mécanique de la rupture sera un atout.

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

Directeur de thèse : Amade POUYA (Ecole des Ponts, Université Gustave Eiffel, UGE)

Encadrement : Hippolyte DJIZANNE (Ineris) et Christophe PROUST (Ineris & Université technologique de Compiègne)

18 RTT en plus des 31 CP annuels

Horaires variables

Restaurant d'entreprise (ou titres restaurants pour les sites hors Verneuil)

Bornes de recharge électriques

Notre offre d'emploi est ouverte à tous, nous souhaitons intégrer nos nouveaux talents au sein d'un environnement de travail inclusif.