

Experimental, numerical and theoretical studies of rock salt as a host rock

Laura BLANCO MARTÍN, Centre de Géosciences Mines Paris

Le sel gemme est une roche ayant des caractéristiques très favorables pour le stockage souterrain, en particulier un comportement ductile, et de perméabilité et porosité très faibles dans l'état non endommagé. Le travail que je présente dans ce manuscrit se propose d'améliorer la démarche actuelle pour le dimensionnement des ouvrages souterrains dans les roches salines, qui comporte trois étapes principales : une caractérisation en laboratoire, une modélisation constitutive et des simulations numériques à l'échelle de l'ouvrage pour en évaluer la stabilité à long terme, moyennant l'utilisation de critères définissant des seuils de stabilité. Le but final de mes recherches est de répondre à des besoins sociaux et industriels, tels que le stockage de déchets radioactifs exothermiques et le stockage souterrain de vecteurs énergétiques en lien avec la transition bas carbone. Comme les cas d'applications présentés le montrent, pour relever ces défis il est nécessaire de considérer des processus couplés (thermiques, mécaniques, hydrauliques).

Le travail expérimental que j'ai encadré a permis de proposer des recommandations pour la réalisation d'essais de caractérisation en laboratoire. Ces recommandations concernent plusieurs aspects tels que le préconditionnement des éprouvettes (*e.g.*, chargement, durée), une caractérisation microscopique plus approfondie (*e.g.*, teneur en saumure, taille des grains) et la réalisation d'essais selon des chemins de charge variés, couvrant la gamme de contraintes et températures *in situ* (*e.g.*, compression, extension, traction, faibles et fortes contraintes déviatoriques).

Une fois la roche caractérisée, et dans le but de déterminer un jeu de paramètres rhéologique, il est nécessaire d'analyser les résultats expérimentaux en tenant compte de l'hétérogénéité, qui peut être de deux types différents. L'hétérogénéité structurelle est due au contact frottant entre l'éprouvette et les pistons qui appliquent la charge. L'hétérogénéité matérielle est due à la présence d'autres composants que le NaCl et doit être prise en compte lorsque les dimensions des éprouvettes sont plus petites que le volume élémentaire représentatif de la roche étudiée. Je montre que considérer que la réponse des éprouvettes est homogène est une simplification qui pourrait mener à une caractérisation erronée de la roche, et par conséquent à un dimensionnement erroné des ouvrages souterrains. Ceci est d'autant plus vrai pour le seuil dilatant, qui est un critère de dimensionnement très utilisé actuellement. En effet, les déformations volumiques sont très petites et très sensibles à l'échelle de la mesure.

La plupart des lois de comportement utilisées en ingénierie sont phénoménologiques, et leurs paramètres sont ajustés à partir des essais de laboratoire. L'extrapolation de ce type de loi est délicate. Dans ce contexte, même s'il est théoriquement possible d'étudier à l'échelle du laboratoire la gamme des contraintes et de température pertinente *in situ*, la durée des essais est forcément plus courte que les échelles de temps propres aux ouvrages souterrains. Cet aspect reste encore non résolu.

Deux perspectives principales découlent des travaux présentés. La première porte sur le comportement à long terme et sur la nécessité de réduire les incertitudes liées aux extrapolations temporelles moyennant une étude plus approfondie des aspects physiques sous-jacents à la réponse observée. L'échelle microscopique devrait être davantage prise en compte dans les applications en ingénierie. La seconde porte sur le couplage thermo-hydro-mécanique expérimental et sur la

nécessité de mieux comprendre l'écoulement dans des roches très peu perméables, telles que le sel gemme.