

Modélisation hydromécanique du comportement différé des ouvrages souterrains

R. Plassart, F. Laigle (EDF / DPIH / CIH), R. Fernandes (EDF / R&D / AMA),
A. Giraud (Laego), D. Hoxha (Prisme)

Objectifs

Le comportement à long terme des excavations souterraines dans le cadre du projet de stockage géologique des déchets nucléaires à haute activité et vie longue (HAVL) est un enjeu technique et économique majeur pour EDF. À ce titre, le Centre d'Ingénierie Hydraulique (CIH) a développé un modèle de comportement appelé L&K prenant en compte les effets mécaniques différés. Les conditions particulières du stockage imposent par ailleurs la prise en compte des effets de l'eau à travers les équations du couplage hydromécanique (HM). Une des difficultés de ce type de modélisation est l'existence de deux phénomènes simultanés dépendant tout deux du temps : le fluage mécanique et l'écoulement hydraulique.

Cette présentation vise à montrer la validité d'une modélisation couplée HM avec un modèle de comportement visqueux en abordant principalement les deux points suivants :

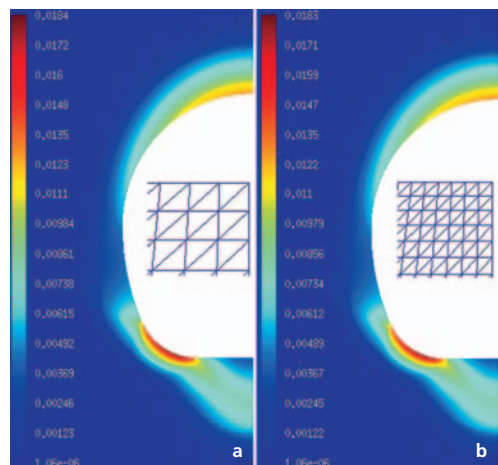


Figure 1 : Comparaison pour deux maillages de la variable plastique à 40 jours :
a) mailles de 6 cm - b) mailles de 3 cm.

- la description du modèle L&K et calage des paramètres sur l'argilite du COx, matériau composant le massif du site projet de stockage de Bure ;
- la modélisation appliquée à une galerie du laboratoire de Bure et comparaison avec les données expérimentales relevées in situ.

Modèle de comportement L&K

Le modèle L&K est un modèle phénoménologique qui couple deux mécanismes : un mécanisme élastoplastique, proche du modèle Hoek et Brown et qui décrit le comportement irréversible instantané du matériau, et un mécanisme viscoplastique de type Perzyna qui décrit le comportement différé du matériau. Un autre aspect

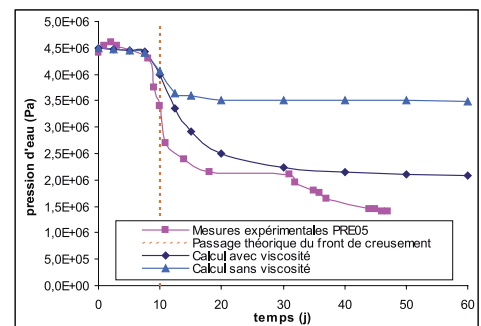
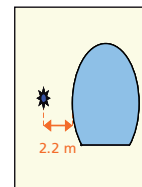


Figure 2 : Pressions d'eau expérimentales et simulées à 2,2 m de la paroi – effets de la viscosité.



important de ce modèle est son caractère non associé qui se traduit par une loi d'évolution de la dilatance gouvernant les déformations volumiques du matériau au cours d'une sollicitation. Le contrôle de ces déformations volumiques est fondamental pour les géomatériaux qui présentent généralement de fortes dilatances. Le couplage hydromécanique est également fortement influencé par l'évolution de la dilatance qui fait varier le volume des pores.

Modélisation hydromécanique du comportement différé des ouvrages souterrains

R. Plassart, F. Laigle (EDF / DPIH / CIH), R. Fernandes (EDF / R&D / AMA), A. Giraud (Laego), D. Hoxha (Prisme)

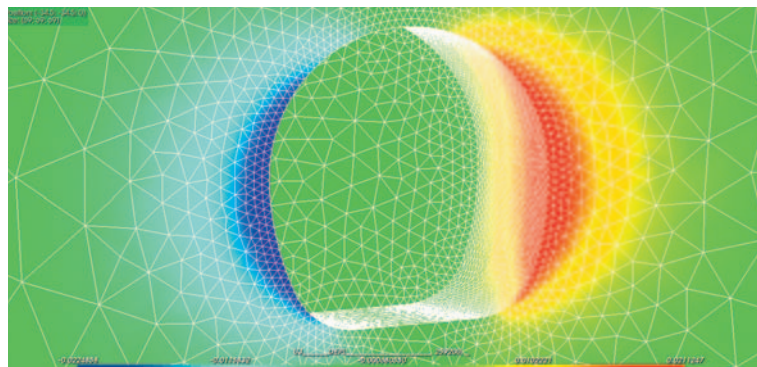


Figure 3 : Déplacements horizontaux par rapport à l'axe de la galerie après 3 mètres de creusement.

Le modèle L&K comporte un grand nombre de paramètres qui sont obtenus idéalement à partir d'essais expérimentaux (données brutes ou par calage de simulations sur les essais). Mais leur absence peut être partiellement compensée par des simulations théoriques. Dans le cadre d'une simulation couplée HM, les essais principaux nécessaires sont les essais triaxiaux non drainés (courbes contrainte-déformation et déformations volumiques) et les essais de fluage (calage des paramètres visqueux).

Modélisation couplée HM d'une excavation dans le laboratoire de Bure

La modélisation effectuée considère une galerie appelée GMR creusée en forme de fer à cheval dans le laboratoire de recherche de Bure (Meuse/Haute-Marne). D'un rayon moyen de 2.3 m, la galerie est excavée par la méthode convergence-confinement en 2D-Plan. Cette méthode permet de simuler en 2D l'aspect progressif dans le temps du déconfinement de la galerie. Des modélisations 3D ont également été effectuées, même si elles se limitent pour l'instant, pour des raisons de temps de calcul, à 3 tranches d'excavation de 1 m chacune. Le massif environnant est modélisé par la loi L&K en conditions couplées hydromécaniques saturées.

Une telle étude considérant une loi de comportement adoucissante nécessite également l'utilisation d'une méthode de régularisation permettant la convergence du calcul en évitant une localisation des résultats numériques ainsi qu'une dépendance de ces résultats vis-à-vis du maillage.

La méthode choisie est celle du second gradient de dilatation de Code_Aster particulièrement adaptée aux géomatériaux dilatants.

La figure 1 montre un exemple de résultat régularisé par cette méthode pour deux maillages différents.

Les différentes simulations effectuées ont été comparées aux mesures de déplacements et de pression d'eau relevées in situ au cours du temps (pendant et après l'excavation de la galerie GMR).

La figure 2 présente une de ces comparaisons à travers l'évolution de la pression d'eau mesurée à 2.2 m de la paroi de la galerie. On voit l'importance de la prise en compte de la viscosité pour retrouver numériquement les pressions mesurées expérimentalement.

Conclusion et perspectives

Le modèle L&K couplé à l'hydromécanique permet une prédiction satisfaisante du comportement à court et long terme des excavations. Cette étude a également permis de valider la démarche complète de simulation. Il reste trois pistes principales d'amélioration :

- faciliter les calculs 3D, notamment par l'utilisation de maillages adaptatifs ;
- mieux justifier physiquement la longueur caractéristique intervenant dans la méthode du second gradient, à travers des essais spécifiques de localisation ;
- prendre en compte un soutènement.