

Modélisation hydro-élasto-visco-plastique d'une galerie du laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne de l'Andra

Mountaka Souley, Jean-Bernard Kazmierczak

▶ **To cite this version:**

Mountaka Souley, Jean-Bernard Kazmierczak. Modélisation hydro-élasto-visco-plastique d'une galerie du laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne de l'Andra. Rapport Scientifique INERIS, 2017, 2016-2017, pp.32-33. ineris-01869660

HAL Id: ineris-01869660

https://ineris.hal.science/ineris-01869660

Submitted on 6 Sep 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MODÉLISATION HYDRO-ÉLASTO-VISCO-PLASTIQUE D'UNE GALERIE DU LABORATOIRE SOUTERRAIN DE MEUSE/HAUTE-MARNE DE L'ANDRA

Contributeurs

Mountaka SOULEY,

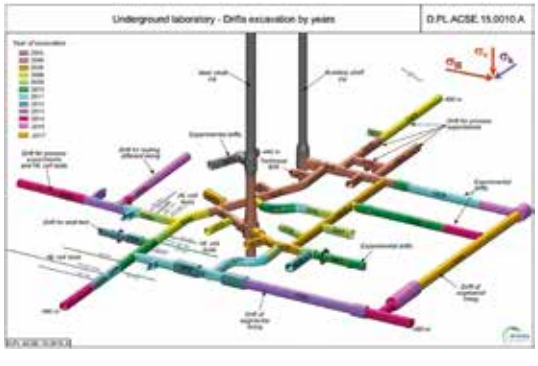
Jean-Bernard KAZMIERCZAK

L'Ineris a été sollicité par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) pour contribuer aux travaux de recherche en amont sur le comportement géomécanique des roches argileuses. De nombreux travaux ont déjà été réalisés depuis plusieurs années sur le comportement et les propriétés des matériaux argileux et les ouvrages souterrains qui y sont réalisés. Le creusement d'excavations souterraines entraîne généralement la création d'une zone perturbée (EdZ) ou zone endommagée (EDZ) au sens de [1], résultant de la micro et la macro-fracturation induites par une redistribution et un réarrangement des contraintes initiales. Il est important de connaître la géométrie, les extensions des EdZ/EDZ, la densité des fissures, leur connectivité et les variations de perméabilité qui peuvent en résulter. Les formations argileuses dans leur état naturel présentent des propriétés favorables au stockage souterrain en raison notamment de leurs faibles conductivités hydrauliques, de leur faible diffusion moléculaire et d'une capacité de rétention de certains éléments.

UN NOUVEAU MODÈLE DE COMPORTEMENT

Les travaux de recherche ont été réalisés sur les argilites du Callovo-Oxfordien (COx) au sein desquelles l'Andra dispose d'un laboratoire souterrain de recherche à Bure dans la Meuse (figure 1). Une caractérisation importante du réseau de fractures induites autour des galeries expérimentales a été réalisée au niveau principal du laboratoire souterrain par l'analyse structurelle du front et des parois, l'analyse des carottes imprégnées de résine, etc. [2]. Ces travaux ont permis de connaître précisément les extensions de EDZ et EdZ.

Figure 1 / Réseaux des galeries expérimentales du laboratoire souterrain de l'Andra.



Un grand nombre d'essais hydromécaniques ont été effectués sur de nombreux échantillons afin de mieux comprendre et caractériser le comportement hydromécanique des argilites. Ces essais ont été réalisés par plusieurs laboratoires européens et ont permis de développer des modèles de comportement regroupés en quatre grandes familles [3] : les modèles visco-élasto-plastiques, les modèles endommageables basés sur la mécanique de l'endommagement, les modèles discrets généralement utilisés pour les milieux granulaires et les modèles micromécaniques faisant appel à des techniques d'homogénéisation. Les modèles développés par l'Ineris relèvent de la première famille. En effet, un modèle de comportement a été développé [4], dans un cadre unifié tenant compte des réponses instantanées et différées des argilites. Le retour d'expériences des observations *in situ* effectuées indique que l'endommagement et les fractures induits ont une forte influence sur le comportement différé des galeries, par une augmentation significative des déformations visqueuses. Ces observations ont permis d'apporter des améliorations au modèle initial dont : (a) l'impact de l'endommagement et la fracturation sur les déformations et vitesses de déformations viscoplastiques, (b) le couplage hydromécanique, (c) les variations de perméabilité dans les EDZ et EdZ [5]. Les vérifications du nouveau modèle constitutif ont été faites avec succès en simulant des essais de laboratoire, de compression triaxiale pour le court terme et de fluage uniaxial monopalier pour le comportement différé (figure 2).

La galerie GCS creusée dans la direction de la contrainte horizontale majeure (figure 1), est utilisée comme une application du modèle développé aux calculs de structures. Cette galerie est de forme circulaire avec un rayon moyen de 2,6 m, creusée à la vitesse moyenne de 0,36 m/j. Elle est modélisée avec une géométrie 2D en conditions de déformations planes soumise à un état de contraintes et à la pression interstitielle régnant à - 490 m.

De par les caractéristiques géomécaniques utilisées dans cette intercomparaison de modélisations et la très faible anisotropie de l'état de contrainte dans la section de la galerie GCS, un domaine peu étendu de zones plastiques et une faible anisotropie de convergences sont attendus de la modélisation

numérique. Aussi, comme les déformations plastiques numériques sont très faibles, le comportement reste gouverné par l'élasticité. Comparées aux mesures *in situ,* les convergences horizontale et verticale sont respectivement sous-estimée et surestimée, comme pour la totalité des modèles isotropes utilisés dans l'exercice d'intercomparaison [3]. Par contre, les vitesses des deux convergences semblent être raisonnablement reproduites numériquement à très long terme [5].

La **figure 3a** montre l'évolution du déplacement radial relatif mesuré et prédit entre la tête de l'extensomètre (en paroi) et des points à l'intérieur du massif pour un forage vertical situé en voûte. Comme pour la convergence verticale, le modèle surestime les déplacements verticaux dans le massif, mais avec des écarts moins importants. Toutefois, les vitesses de déplacement prédites sont conformes aux observations.

La **figure 3b** illustre la comparaison entre les mesures et la simulation numérique pour la pression interstitielle dans les chambres du forage OHZ1522 (horizontal). Elle montre clairement que les chutes de la pression interstitielle à moyen terme sont bien reproduites. En revanche, à très court terme (au passage du front) les surpressions interstitielles mesurées dans les chambres à proximité de la paroi ne sont pas reproduites par la simulation numérique dans la mesure où (a) la simulation est en 2D, donc n'intègre pas l'anisotropie induite du champ de contrainte qui conduit à des surpressions en conditions non drainées, (b) le comportement hydraulique est également isotrope.

L'expertise développée par l'Ineris dans ce projet permet aussi de mieux étudier et d'évaluer la sécurité géotechnique d'autres types d'ouvrages profonds.

Références

[1] Tsang CF, Bernier F, Davies C. Geohydromechanical processes in the excavation damaged zone in crystalline rock, rock salt, and indurated and plastic clays – in the context of radioactive waste disposal. Int J *Rock Mech Min Sci* 2005;42 (1):109–25

[2] Armand, G. ; Leveau, F. ; Nussbaum, C. ; de La Vaissiere, R. ; Noiret, A. ; Jaeggi, D. et al. Geometry and properties of the excavation induced fractures at the Meuse/ Haute-Marne URL drifts. *Rock Mech Rock* Eng 2014;47(1):21–41

[3] Seyedi, D.M. ; Armand, G. ; Noiret, A. "Transverse Action" – A model benchmark exercise for numerical analysis of the Callovo-Oxfordian claystone hydromechanical response to excavation operations. *Computers and Geotechnics* 85 (2017) 287–305

[4] Souley, M. ; Armand, G. ; Su, K. ; Ghoreychi, M. Modelling of the viscoplastic behaviour including damage for deep argillaceous rocks. *Phys Chem Earth* 2011;36:1949–59.

[5] Souley, M. ; Armand, G. ; Kazmierczak, J.-B. Hydro-elasto-viscoplastic modeling of a drift at the Meuse/Haute-Marne underground research laboratoratory (URL). Computers and Geotechnics 85 (2017) 306–320

[6] Armand, G. ; Conil, N. ; Talandier, J. ; Seyedi, D.M. Fundamental aspects of the hydromechanical behavior of Callovo-Oxfordian claystone: From experimental studies to model calibration and validation. *Computers and Geotechnics* 85 (2017) 277–86

ABSTRACT /

Clay formations in their natural state show very favourable confining conditions with respect to underground storage due to their generally lo hydraulic conductivity, low molecular diffusion and significant retention capacity for some elements.

This research work has been performed on Callovo-Oxfordian Clay (also called "Argillite") in which Andra has constructed an underground research laboratory. As illustrated in figure 1 several specific *in situ* experiments were carried out with the main objectives basically to characterize the short and long term response of the rock to different drift construction methods in order to optimize the design of component and to assess the Excavation Damaged Zone (EDZ) and its evolution. The model developed by Souley et al. (2011 [4]) is phenomenological and elastic-visco-plastic and takes into account the short- and long-term responses of COx claystone. However, it only considers mechanical behaviour. More recently, Souley *et al.* (2017) [5] propose to extend this model in order to reflect: (a) the impact of excavation induced fracturing and damage on the delayed strains as indicated by in situ measurements at the Meuse/Haute-Marne URL; (b) hydro mechanical couplings in saturated conditions, (c) changes in the permeability, firstly in the EDZ.

The new model is used to numerically simulate the excavation of the GCS drift of MHM-URL (figure 1). Comparisons with *in situ* measured data are presented in terms of change in strain and pore pressure fields, and then discussed to contribute to the understanding of the COx claystone. Improvement and discrepancy of the modelling are also discussed.

Figure 2 / **(a)** À gauche, courbes de compression triaxiale à 6 MPa de confinement : contrainte déviatorique en fonctions des déformations axiale, latérale et volumique. **(b)** À droite, courbes de fluage de déformation viscoplastique axiale en fonction du temps pour 3 niveaux de contrainte axiale : 50, 70 et 90 % de la résistance unixale.

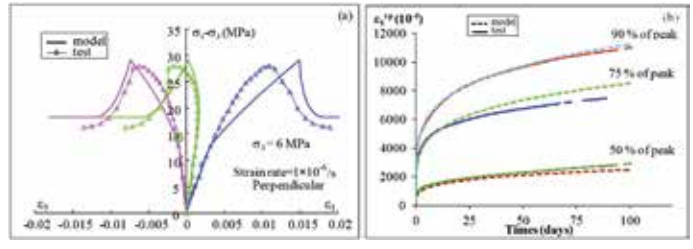


Figure 3 / Confrontation avec les mesures *in situ* : **(a)** à gauche, déplacement relatif à la paroi dans le massif en voûte en fonction du temps ; **(b)** à droite, évolution de pression interstitielle dans les chambres d'un forage horizontal en reins.

