



CFMR

COMITE FRANCAIS DE MECANIQUE DES ROCHES

www.cfmr-roches.org

le cnam
école sciences industrielles &
technologies de l'information

INVITATION

Assemblée Générale annuelle du CFMR et Séance Technique

jeudi 4 décembre 2014

CNAM

292 bd St-Martin, 75003 PARIS

- 13 : 45** **Ouverture du vote**
- 14 : 15** **Assemblée générale** (ouverte aux membres du CFMR)
- Rapport moral du Président
 - Rapport financier du Trésorier
 - Questions

Séance Technique (ouvert à tous)

- 15 : 00** **Remise du prix Pierre Londe 2014**
- Dr Wang Linlin**
Laboratoire Navier- Ponts ParisTec, Marne la Vallée
Analyse expérimentale et modélisation micromécanique de la déformation et de l'endommagement des argilites sous chargements hydrique et mécanique combinés
- 15 : 45** **Dr Louis Zinsmeister**
Laboratoire de Mécanique des Solides, Ecole Polytechnique, Palaiseau
Étude de l'évolution hydromécanique d'un carbonate après altération chimique. Application des méthodes de corrélation d'images 2D et 3D à la mesure des champs locaux de déformation lors d'essais mécaniques à différentes échelles
- 16 : 30** **Conférencier Invité :**
- Prof. Giovanni Barla**
Politecnico di Torino, Italy
Interaction between twin tunnels and a deep-seated landslide
- 17 : 15** **Discussion**
- 17 : 45** **Pôt de la Sainte Barbe**



Dr Wang Linlin

Laboratoire Navier- Ponts ParisTec, Marne la Vallée

Analyse expérimentale et modélisation micromécanique de la déformation et de l'endommagement des argilites sous chargements hydrique et mécanique combinés

Résumé : Ce travail de thèse concerne une étude expérimentale et modélisation à l'échelle microscopique du comportement hydromécanique des argilites, roche hôte potentielle pour le stockage souterrain des déchets radioactifs. Le champ de déformation est mesuré par microscopie électronique à balayage environnementale (MEBE) et corrélation d'images numériques (CIN).

En premier lieu, on étudie le cas du chargement hydrique pur. Le champ de déformation obtenu est très hétérogène, en raison des interactions hydromécaniques entre les composants du matériau, et montre une anisotropie qui peut être reliée à une orientation préférentielle des particules argileuses. La non-linéarité de déformation pour HR élevée est le résultat combiné d'une fissuration et d'un gonflement non-linéaire de la phase argileuse dû à des mécanismes différents selon humidité relative (HR). On constate une déformation irréversible lors d'un cycle hydrique, ainsi qu'un réseau de microfissures localisées dans la phase argileuse ou aux interfaces grain-matrice, et dont la morphologie et la localisation dépendent de la vitesse et du sens du chargement hydrique. Les phénomènes irréversibles observés sont très localisés et se contrarient parfois, la déformation totale apparaissant réversible.

Ensuite, on étudie le cas du chargement combiné hydrique (par paliers de HR) et mécanique (compression uniaxiale) dans le MEBE. A teneur en eau constante, trois types de bandes de déformation apparaissent au cours du chargement mécanique : horizontales (compaction), verticales (fissuration), et inclinées (cisaillement). A chargement mécanique égal, les bandes de cisaillement apparaissent plus tôt à HR plus élevée.

Finalement, le matériau sous chargement hydrique est modélisé comme un composite constitué par de inclusions non gonflantes au sein d'une matrice gonflante. On calcule d'abord le champ de contrainte interne dû aux interactions inclusion-matrice ainsi qu'au gradient d'humidité, et ensuite la déformation globale. On en dérive un modèle micromécanique du type du problème d'Eshelby. De plus, des modélisations 2D aux éléments finis, basées sur une microstructure périodique ainsi que sur une microstructure réelle, sont effectuées.

Dr Louis Zinsmeister

Laboratoire de Mécanique des Solides, Ecole Polytechnique, Palaiseau

Étude de l'évolution hydromécanique d'un carbonate après altération chimique. Application des méthodes de corrélation d'images 2D et 3D à la mesure des champs locaux de déformation lors d'essais mécaniques à différentes échelles

Résumé : Devant le défi grandissant de diminuer la libération dans l'atmosphère des gaz à effet de serre plusieurs solutions ont été envisagées. Une des plus étudiée est le stockage géologique du CO₂ par injection dans des aquifères salins profonds. Ces structures géologiques sont présentes dans les bassins sédimentaires et se caractérisent par leur épaisseur (plusieurs centaines de



mètres) et leur étendue géographique (l'ensemble du bassin parisien, par exemple, pour la couche du Dogger). Le second intérêt de ces structures est que les roches carbonatées qui les composent sont généralement très poreuses (10 à 30% de porosité) et présentent une perméabilité suffisamment élevée pour faciliter l'injection de fluides. Cependant, le comportement et l'évolution à long terme de ces réservoirs, après l'injection de CO₂ dans la saumure en place, est incertain. Aussi, la résistance mécanique et les propriétés d'écoulement de ces roches sont étudiées pour réaliser des modèles prédictifs d'évolution, afin de garantir l'intégrité et la pérennité des sites de stockage. Le travail de cette thèse repose sur un protocole d'acidification retardée, développé et utilisé à l'IFPEN, permettant une altération homogène d'échantillons de carbonates. Notre objectif a été de déterminer les effets de ce type d'altération sur le comportement hydromécanique de la roche calcaire de Lavoux. La caractérisation des propriétés d'écoulement de la roche a été combinée à une étude microstructurale. Les paramètres étudiés sont la porosité et la perméabilité avant et après altération. Les résultats d'évolution de la perméabilité ont été analysés en s'appuyant sur une méthode de soustraction d'images de microtomographie RX, qui permet de visualiser la mobilité de particules fines au sein du réseau poreux. Ces dernières sont aussi révélées à posteriori dans les effluents par diffraction laser. L'étude microstructurale de la roche après altération a permis la mise en évidence des mécanismes de dissolution et d'altération. Le comportement mécanique de notre roche à différents stades d'altération a été étudié à l'aide d'essais triaxiaux classiques réalisés à différents états de confinement. Ces essais ont montré que l'altération induit une transition du domaine de rupture fragile vers le domaine de rupture ductile. Afin de mieux comprendre ce comportement, nous avons mené des essais mécaniques uniaxiaux avec observation et acquisition d'images numériques " in-situ " : i) sur une presse électromécanique classique équipée de caméras CCD et de microscopie optique, ii) à l'aide d'un dispositif de compression miniaturisé adapté à l'enceinte d'un microscope électronique à balayage. La technique de corrélation d'images numériques a pu être appliquée tout au long du chargement mécanique à différentes échelles, depuis celle de l'échantillon, jusqu'à celle de la microstructure. Les mesures de champs de déformation ainsi réalisées ont permis de mettre en évidence les modes d'endommagement et de rupture selon l'état d'altération. Une cellule triaxiale miniaturisée pour être montée dans l'enceinte du microtomographe a spécialement été développée à l'IFPEN pour cette étude. Cette cellule nous a permis de mener des essais à 5 et 10 MPa de confinement avec observation volumique " in-situ " par tomographie. Nous avons pu identifier pour trois états d'altération, trois types de comportements à la rupture, avec l'observation i) d'une bande de cisaillement en régime de rupture fragile, ii) d'une étroite bande de cisaillement en compaction, iii) d'une large bande de compaction en cisaillement. L'ensemble des résultats obtenus sur les propriétés mécaniques et sur les propriétés d'écoulement (notamment la variation de perméabilité et la présence de fines dans le réseau poreux) tend à montrer que l'altération affecte fortement la microporosité du calcaire, avec des conséquences quant au comportement cisailant compactant de notre roche.



Professor Giovanni Barla

Politecnico di Torino, Italy

Interaction between twin tunnels and a deep-seated landslide

Abstract: This lecture is intended to describe the interaction between twin tunnels excavated along the new Bologna-Florence highway, in a critical area of the Italian Apennines due to the presence of the existing A1 highway, the century old railway line, a few inhabited areas, and a deep-seated landslide

A summary of the geological, hydrogeological, and geotechnical conditions of the area of interest is given. Also described are the available monitoring data on the landslide movements, based on: interferometric synthetic aperture radar (InSAR) images, real-time monitoring through multi-purpose electronic surveying instruments (Total Stations), and inclinometers.

Two- and three-dimensional finite element models are discussed. The purpose has been to back-analyze the monitored surface and subsurface deformations. The intent is to gain insights into the complexities associated with the interaction, during excavation, between the twin tunnels and a deep-seated landslide. Attention is devoted to the analysis of the stress changes induced by tunnel excavation on the landslide shear surface evidenced through inclinometer monitoring.

The simulation of the excavation of the twin tunnels, with one heading preceding the other one, in line with the excavation advancement sequence is considered. The modelling results obtained in terms of induced displacements (horizontal and vertical) on the ground surface and below, the induced plastic zones, and the shearing strains along the shear surface, in line with tunnel deformations, are compared with the performance monitoring data.

An attempt is made to assess the potentials and limitations of computer modelling of complex conditions, as described in the lecture, as a means for forecasting the landslide behaviour, based on the real-time monitoring data being obtained continuously at a given site, as tunnel excavation proceeds