

Séance technique CFMR

Les avancées récentes sur la modélisation numérique du comportement des roches

Organisée par la Commission CFMR_Jeunes

Jeudi 27 mai 2021 à 14h00 (en visioconférence)

- 14h00 Accueil et informations du CFMR par Philippe Cosenza, Président du CFMR
- 14h10 Nouvelles Commission CFMR_Jeunes et introduction à la séance
- 14h25 Estimations des propriétés mécaniques effectives des massifs fracturés par une approche « Discrete Fracture Network ».
Etienne Lavoine (Fractory).
- 14h55 Modélisation numérique de la fissuration avec processus hydromécanique en considérant l'hétérogénéité des roches.
Zhan Yu (LaMcube, Université de Lille).
- Pause
- 15h40 Prediction of large-scale failures of rock from small-scale characteristics of the soil medium using multiscale modelling.
Christos Murlas (ENTPE).
- 16h10 Numerical yield surface determination of cemented rocks from digital microstructures
Martin Lesueur (University of Western Australia - UWA).
- 16h40 IMASS: Itasca Constitutive Model for Advanced Strain Softening.
Lauriane Bouzeran (Itasca Consultants)
- 17h10 Discussion
- 17h30 Fin de la séance

Estimations des propriétés mécaniques effectives des massifs fracturés par une approche « Discrete Fracture Network »

Etienne Lavoine ¹⁾ e.lavoine@itasca.fr

¹⁾ Fractory, Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes, 35042 Rennes, France

Les propriétés mécaniques des massifs rocheux fracturés (typiquement les roches cristallines) sont fortement contrôlées par les fractures qui les traversent. Leur évaluation est critique dans de nombreuses applications en génie civil, dans le domaine minier, ou encore le stockage de déchets radioactifs. Pour compenser l'impossibilité d'effectuer des mesures directes in situ de ces propriétés à des échelles appropriées, les approches empiriques dérivent classiquement des propriétés équivalentes à partir d'indicateurs simples (GSI, RQD...). Nous proposons ici une approche basée sur une représentation discrète et quantitative où la fracturation dans la roche est vue comme une population de fractures discrètes dont les tailles peuvent être distribuées sur plusieurs ordre de grandeurs (le DFN, pour « Discrete Fracture Network »). Pour une sollicitation en contrainte donnée sur un bloc rocheux fracturé, la contribution de chaque fracture à la déformation globale est calculée. Les contributions de toutes les fractures sont cumulées pour en déduire l'expression des propriétés mécaniques effectives du milieu considéré. Nous montrons la dépendance de ces propriétés à différents indicateurs de densité de fracturation, selon un rapport entre le module de roche intacte, la rigidité typique des fractures et la distribution de tailles de fractures. La méthode est appliquée au site Forsmark en Suède. Au-delà du problème de mise à l'échelle, nous quantifions le niveau d'anisotropie résultant.

Modélisation numérique de la fissuration avec processus hydromécanique en considérant l'hétérogénéité des roches

Z. Yu¹⁾, M. Wang¹⁾, M.N. Vu²⁾, J.F. Shao^{1)*}

1) Université de Lille, CNRS, Centrale Lille, LaMcube, UMR9013, 59000 Lille, France

2) Andra, Chatenay Malabry, France

*Auteur correspondant : jian-fu.shao@polytech-lille.fr

Dans cette étude, nous présentons une étude numérique des dommages et du processus de fissuration dans les argilites saturées soumises à un couplage thermo-hydromécanique en considérant la distribution de l'hétérogénéité des matériaux. Pour cela, un modèle élastique macroscopique est d'abord déterminé en utilisant deux étapes d'homogénéisation en prenant en compte les effets de la porosité et des inclusions minérales. Ce modèle est implémenté dans un code éléments finis consacré à la résolution des problèmes de couplage thermo-hydromécanique. La nucléation et la propagation des fissures sont décrites en utilisant une méthode de champ de phase étendu, en considérant les effets de la température et de la pression des fluides sur l'évolution du champ de phase. En particulier, la variabilité spatiale de la porosité et des inclusions minéralogiques est décrite en utilisant la fonction de distribution de Weibull. Par conséquent, la nucléation des fissures est directement influencée par la distribution spatiale de l'hétérogénéité des matériaux. Le modèle proposé est appliqué à l'analyse numérique du processus de fissuration dû à l'excavation autour d'une galerie expérimentale (GCS). Les résultats numériques sont comparés aux mesures in-situ en termes d'étendue des fissures induites, de distribution de la pression interstitielle et d'évolution des déplacements.

Prediction of large-scale failures of rock from small-scale characteristics of the soil medium using multiscale modelling

Christos Mourlas* ¹⁾, christos.mourlas@entpe.fr

Benoît Pardoën ¹⁾, benoit.pardoen@entpe.fr

1) University of Lyon, ENTPE, LTDS, 69518 Vaulx-en-Velin, France

The geomaterials such as soils and rocks are multiphase porous media with complex structure that is characterised by heterogeneity and possible anisotropy at various scales. It is obvious that, the heterogeneous nature of the material is originated by the small-scale properties¹. The microscopic behaviour of rocks is characterised by the material and morphological (grain shape and size) properties of its components and their interactions. The accurate reproduction and influence of these microscale characteristics on the material behaviour and damage at large scale remain a complex issue. This question becomes crucial when investigating the underground stability during excavation works such as galleries and tunnels^{2 3}. In this study, the microstructure characteristics are embedded in a representative volume element (RVE)⁴. A double-scale numerical framework, with finite element resolution at both scales (FEM²) and computational homogenisation, is considered^{5 6}. The influence of the microstructural characteristics of heterogeneous rocks and the effect of different inter-granular properties on their macroscopic behaviour, are examined. Additionally, a predictive strategy which is based on the connection between the failure modes of the RVE and the failure mechanisms of the macroscale structure is also presented. This study investigates the effect of the microcracking on the regularised shear banding in a soil specimen during biaxial shear test and the development of the Excavation Damaged Zone (EDZ) around tunnels. The objective of this work, is to explain the failure mechanisms observed up to the engineering scale of underground structures through the morphological and material small-scale characteristics of the RVE.

¹ Yven, B., Sammartino, S., Geraud, Y., Homand, F., Villieras, F. (2007). Mineralogy, texture and porosity of Callovo-Oxfordian argillites of the Meuse/Haute-Marne region (eastern Paris Basin). *Mém Soc géol France*. 178:73–90.

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

³ Pardoën B, Collin F (2017). Modelling the influence of strain localisation and viscosity on the behaviour of underground drifts drilled in claystone. *Comput Geotech* 85:351–367.

⁴ Kouznetsova, V., Brekelmans, A. M., and Baaijens, P. T. (2001). An approach to micro-macro modeling of heterogeneous materials. *Comput Mech*. 27(1):37-48.

⁵ van den Eijnden, A., Bésuelle, P., Chambon, R., and Collin, F. (2016). A FE² modelling approach to hydromechanical coupling in cracking-induced localization problems. *Int J Solids Struct*. 97-98:475-488.

⁶ Pardoën B., Bésuelle P., Dal Pont S., Cosenza P., Desrues J. (2020). Accounting for Small-Scale Heterogeneity and Variability of Clay Rock in Homogenised Numerical Micromechanical Response and Microcracking. *Rock Mech Rock Eng*, 53(6):2727–46.

Numerical yield surface determination of cemented rocks from digital microstructures

Martin Lesueur ¹, martin.lesueur@uwa.edu.au

¹ University of Western Australia – UWA, Perth, Australie.

Résumé : Les matériaux granulaires cimentés sont une classe de géomatériaux composés de grains connectés par du ciment remplissant partiellement ou complètement l'espace vide entre les particules solides. Après une phase de dépôt et de consolidation des sédiments, la cimentation a lieu pendant la diagenèse quand la matière minérale précipite à l'interface pore-grains. Ce processus est connu pour augmenter la résistance mécanique du géomatériau en créant une cohésion entre les particules. Il est alors essentiel de le caractériser pour des analyses de stabilité en Ingénierie Géotechnique ou Géoscience. Cependant, aucune loi quantitative n'existe reliant directement la quantité de ciment et la résistance de la roche parce que la cimentation dépend fortement de la microstructure de la roche et la distribution initiale des forces entre particules. De plus, ce mécanisme se développe à l'échelle des temps géologiques, ce qui le rend compliqué à reproduire expérimentalement. C'est pourquoi dans ce travail des simulations numériques à l'échelle de la microstructure en prenant en compte son évolution sont privilégiées. Une étude paramétrique détaillée a permis de quantifier l'impact de la cimentation sur la surface de plasticité de la roche en partant de microstructures réelles de matériaux granulaires (obtenues par microtomographie à rayons X) et en considérant différents chemins de contraintes. L'augmentation de la taille de la surface de plasticité avec le volume de ciment a pu être vérifiée, mais aussi l'influence des propriétés du ciment (Module de Young, coefficient de frottement et cohésion) sur la surface de plasticité a été quantifiée. Le modèle présenté dans cette étude démontre la possibilité de déterminer la surface de plasticité de la roche à partir de sa microstructure et des propriétés des grains et du ciment. Ce type de simulation pourra facilement être étendu pour décrire d'autres phénomènes physico-chimiques affectant la microstructure de la roche et étudier leur impact sur le comportement mécanique du géomatériau.

Abstract: Cemented granular materials is a general class of geomaterials composed of grains connected by cement partially or completely filling the void in-between the grains. After deposition and consolidation phases of the sediments, cementation happens during diagenesis when mineral matter precipitates at the pore-grain interface. This process is known to increase the strength of the geomaterial by creating a cohesion between the particles. As such, it is critical to characterize for material stability applications in geotechnical engineering and geophysical processes. However, no quantitative law can be directly derived between the amount of cement and rock strength because cementation depends heavily on the rock microstructure and the initial distribution of chain forces. On top of that, this process takes place at a geological timescale, which makes it complicated to reproduce experimentally. Eventually, only direct numerical simulation of elasto-plasticity performed at the micro-scale level and coupled with microstructure evolution can be used to determine the strength of cemented materials. In this study we provide for the first time a comprehensive parametric study on the impact of cementation on rock strength for real microstructures of granular materials. Compared to most previous studies, the whole yield surface is determined numerically in order to assess the influence of cementation for different stress-paths. The previously known tendency of rock to strengthen with increasing cementation volume is verified. New results on the influence of cement property namely Young's modulus, friction and cohesion on the rock's yield surface are explored. While most studies use Discrete Element Modelling to consider grain contacts explicitly, our simulator uses Finite Element Modelling which allows more flexibility in the approach to model the precipitation of the pressure-sensitive layer of cement. The contacts are modelled as an upscaled plastic law. The framework presented in this study showcases the possibility of determining rock yield surfaces from their microstructures. While the current contribution focuses on cementation, other phenomena of interest can also be investigated such as dissolution from reactive transport.

IMASS: Itasca Constitutive Model for Advanced Strain Softening

Lauriane Bouzeran ¹, l.bouzeran@itasca.fr

¹ Itasca Consultant, 29 Avenue Joannes Masset, 69009 Lyon, France

The Itasca Constitutive Model for Advanced Strain Softening (IMASS) has been developed to represent the rock mass response to excavation induced stress changes. IMASS represents the damage around slopes, caving processes, pillars, open stopes, and other excavations; it does this by accounting for the progressive failure and disintegration of the rock mass from intact, jointed, and/or veined rock to a disaggregated, bulked material. IMASS is based on empirical relationships and uses strain and zone-size dependent properties that reflect the impacts of dilation and bulking as a rock mass undergoes plastic deformation. Based on the CaveHoek constitutive model, developed by Itasca consultants in 2010¹, IMASS is the product of many successful engineering consulting projects and brittle rock behavior research. IMASS is the default constitutive model for mining applications at Itasca due to its powerful features and ability to closely mimic the behavior of rock mass under complex stress paths.

¹ Pierce, M. (2013) "Numerical Modeling of Rock Mass Weakening, Bulking and Softening Associated with Cave Mining," ARMA E-Newsletter Spring 2013, (9).