



Comité Français de Mécanique des Roches

CFMR

Le secrétaire général

Siavash Ghabezloo

Lab. Navier, École des Ponts ParisTech
6-8 avenue Blaise Pascal, Cité Descartes
77455, Marne-la-Vallée Cedex 2, France

Tél : 01 64 15 37 85

Email : secretaire-general@cfmr-roches.org

Champs-sur-Marne

Jeudi 18 novembre 2021

Invitation

Journée de la Sainte Barbe

Jeudi 2 décembre 2021 à 9h30

Amphi Abbé Grégoire

Conservatoire National des Arts et Métiers (292 av. Saint-Martin, Paris 3)

09 : 30 Accueil et présentation de la journée

Philippe Cosenza (Président du CFMR)

09 : 40 Prix Pierre Londe 2021

Dr. Cyrille Couture (Laboratoire 3SR, Université Grenoble Alpes)

Caractérisation du comportement mécanique de grès poreux en condition triaxiale vraie: déformation diffuse et localisée, effet de l'anisotropie

10 : 30 Conférence Jean Mandel 2021

Pr. Frédéric Cappa (Laboratoire Géozur, Université Côte d'Azur, Institut Universitaire de France)

Le rôle des fluides dans l'activation des failles et le déclenchement de la sismicité par glissement asismique

11 : 30 Assemblée Générale annuelle du CFMR

- Rapport moral du Président
- Rapport financier du Trésorier
- Approbation des comptes
- Election pour le renouvellement de quatre membres du Conseil du CFMR
- Questions diverses

12 : 15 Pause déjeuner

14 : 00 Hommage à Gérard Vouille

Accueil et introduction (Philippe Cosenza, Président du CFMR)

14 : 10 Rhéologie du sel gemme, un sujet toujours d'actualité !

Ahmed Rouabhi (MINES ParisTech – Université PSL- Centre de Géosciences)

15 : 00 Gestion de l'après mines dans le bassin ferrifère lorrain: apport du comité d'experts

Rafik Hadadou (GEODERIS)

15 : 45 Pause

16 : 00 Sel gemme: complexité et problématiques à l'échelle industrielle

Benoît Brouard (Brouard Consulting)

16 : 45 Contraintes internes dans les éprouvettes de roche

Pierre Bérest (LMS, Ecole Polytechnique)

17 : 15 Témoignage de Philippe Boucly, Président de France-Hydrogène (sous réserve)

17 : 30 Fin de la journée

Prix Pierre Londe 2021

Caractérisation du comportement mécanique de grès poreux en condition triaxiale vraie: déformation diffuse et localisée, effet de l'anisotropie

Cyrille Couture

Laboratoire 3SR, Université Grenoble Alpes

Les travaux présentés dans le cadre de ma thèse s'intéressent, dans un premier temps, à la caractérisation expérimentale du comportement mécanique sous sollicitation triaxiale vraie, ainsi qu'à la transition entre la déformation diffuse et localisée dans les grès poreux isotropes et anisotropes. La cinématique de la localisation émergente et son évolution durant la phase de chargement déviatoire, y est étudiée finement par des techniques de mesure de champs surfacique et de corrélation d'images numériques (DIC). Ces résultats nouveaux ont permis notamment d'observer l'émergence de bandes de déformation précoces durant la phase initiale (pré-pic) de chargement, et d'évaluer leur effet sur les bandes de déformation matures, apparaissant durant la phase de radoucissement. Cette partie de mon travail a également été étendue par une analyse théorique de la localisation. À partir des principes d'analyse en bifurcation et d'un modèle en l'élasto-plasticité général, les prédictions de la cinématique des bandes se sont révélées très comparables aux mesures d'orientations et de dilatance obtenu par corrélation, et ce pour divers chemins de chargements qui restent encore rarement explorés.

Enfin, un travail de modélisation numérique du comportement de ces matériaux isotropes et anisotropes y est développé afin d'analyser finement l'impact des hétérogénéités et de l'anisotropie sur la localisation. Ce travail de modélisation est conduit dans un cadre avancé de modèles double échelle FEMxDEM, reliant l'échelle microscopique (celle des grains) à l'échelle macroscopique (celle de l'échantillon) par un schéma d'homogénéisation numérique. Dans cette étude, l'origine de l'anisotropie est investigué comme découlant d'hétérogénéités aux différentes échelles: celle des contacts granulaires et celle de la structure organisée en plans de litage. Ces résultats font ressortir des réponses mécaniques très différentes du matériau qui se rapprochent fortement des observations expérimentales.

CFMR

Conférence Jean Mandel 2021

Le rôle des fluides dans l'activation des failles et le déclenchement de la sismicité par glissement asismique

Frédéric Cappa

Université Côte d'Azur, Laboratoire Géoazur, Institut Universitaire de France

Les variations de la pression de fluides dans les roches fracturées et dans les failles tectoniques peuvent participer au déclenchement de séismes naturels ou induits par les activités anthropiques de stockage ou d'extraction de fluides. Des mesures géophysiques et géodésiques montrent également que les fluides jouent un rôle important dans la déformation asismique. Ces observations posent donc la question de savoir comment, où, quand et pourquoi les fluides affectent les différents modes de déformation (sismique ou asismique) dans les failles et les roches fracturées.

Dans cette présentation, je montrerai comment des expériences d'injection de fluides en laboratoire et sur le terrain peuvent contribuer à mieux comprendre (1) comment les pressions de fluides affectent les différents modes de glissement des failles, et (2) les relations entre la diffusion des fluides, le glissement asismique et la sismicité.

En confrontant des expériences à différentes échelles (du centimètre à la dizaine de mètres) avec des simulations numériques, nous montrons comment le glissement sur une faille est provoqué par l'augmentation de la pression depuis la phase initiale asismique jusqu'à la phase sismique. Une observation très prometteuse est que les processus de déformation à l'échelle décimétrique sur le terrain sont quantitativement cohérents avec les modes de déformation et les propriétés de frottement mesurées en laboratoire à l'échelle centimétrique. Ces expériences d'injection de fluide sur des failles naturelles et en laboratoire révèlent une phase similaire d'ouverture et d'accélération du glissement jusqu'à l'instabilité principale de la faille, ce qui suggère un mécanisme sous-jacent commun qui est indépendant de l'échelle d'investigation. De plus, les prédictions des modèles hydromécaniques intégrant les propriétés frictionnelles mesurées en laboratoire sont cohérentes avec le glissement de la faille mesuré sur le terrain. Les résultats montrent que le glissement asismique s'amorce dans la zone sous pression, mais qu'aucun séisme ne se produit près de l'injection car la taille de la zone sous pression est plus petite que la taille de nucléation nécessaire pour produire un séisme. De plus, l'étude montre qu'un glissement asismique soutenu peut accumuler des contraintes de cisaillement suffisamment fortes au-delà du front de pression pour déclencher des séismes sur des aspérités prêtes à rompre avant l'injection.

Ces résultats fournissent un cadre nouveau pour comprendre comment le couplage entre la déformation sur une faille et l'écoulement du fluide favorise un glissement stable et asismique pendant l'injection, et comment la sismicité peut être déclenchée indirectement par le chargement asismique des aspérités non pressurisées par les fluides.

Hommage à Gérard Vouille

Rhéologie du sel gemme, un sujet toujours d'actualité !

Ahmed Rouabhi

MINES ParisTech – Université PSL - Centre de Géosciences

La rhéologie du sel gemme est un des plus anciens sujets de recherche abordés au Centre de Géosciences de MINES ParisTech, sujet largement ravivé ces dernières années par l'émergence de nouvelles idées d'utilisation des cavités salines dans le contexte de la transition énergétique. C'est également l'un des sujets favoris de Gérard Vouille. A ses débuts, cette rhéologie était décrite dans le cadre de l'élastoplasticité avec l'existence d'un domaine élastique à déviateur non nul, mais une accumulation croissante de preuves (essais de laboratoire et mesures in situ) a progressivement révélé son caractère liquide visqueux. Aujourd'hui, les questions essentielles qui se posent ne sont plus de nature à mettre en cause ce caractère dépendant du temps, mais abordent davantage la pertinence spatio-temporelle des lois de comportement utilisées dans les codes de calcul pour dimensionner et prédire le comportement long terme des ouvrages creusés dans les formations salines.

Dans l'approche phénoménologique, la seule utilisée actuellement dans les applications pratiques, la détermination des lois de comportement des roches salines à partir d'essais de laboratoire sur des éprouvettes repose sur trois hypothèses principales : la représentativité spatiale des éprouvettes, la représentativité temporelle des durées des essais et l'homogénéité des contraintes et des déformations au sein du matériau testé. Le respect de ces hypothèses est conditionné avant tout par les performances du dispositif expérimental utilisé (taille de la cellule, instruments de mesure, frettage...), sauf en ce qui concerne la variable temps dont la gamme de variation ne peut être que limitée comparée aux durées de vie des ouvrages. Une approche combinant expérimentation, modélisation et simulation numérique sera présentée afin d'apprécier l'effet de chacune de ces hypothèses sur la formulation macroscopique de la loi de comportement. Une méthodologie de dimensionnement des ouvrages souterrains et une nouvelle loi de comportement, développées dans le cadre des deux dernières thèses à MINES ParisTech (Paule Labaune (2018) et Mejda Azabou (2021)), seront également présentées et discutées.

CFMR

Hommage à Gérard Vouille

Gestion de l'après mines dans le bassin ferrifère lorrain : apport du comité d'experts

Rafik Hadadou
Directeur de GEODERIS

Le bassin ferrifère lorrain, situé dans le nord-est de la France, s'étend sur environ 1700 km², dans une région fortement urbanisée. L'exploitation s'est arrêtée en 1997. En un peu plus d'un siècle, 40 000 km de galeries ont été creusées, créant plus d'un milliard de m³ de vides résiduels. L'exploitation moderne était réalisée par la méthode des chambres et piliers, suivie ou non d'un dépilage intégral.

A la fin des années 1990, une série de désordres (affaissements, fontis) de grande ampleur se sont produits, affectant pour certains la sécurité des personnes et des biens.

La grande étendue du bassin ferrifère lorrain, l'importance et la multiplicité des aléas identifiés et des enjeux de surface ont nécessité de définir et de mettre en œuvre une méthodologie spécifique d'évaluation des aléas, mais également d'identification et de traitement du risque.

C'est ainsi qu'une démarche, basée sur la rétro-analyse d'évènements passés, validée par un Comité d'Experts et commune à l'ensemble des cent vingt communes du bassin a été définie. Par ailleurs, l'importance des enjeux de surface a conduit à hiérarchiser les risques et à effectuer, dans un second temps, des études spécifiques sur certains secteurs. Le résultat de ce travail, mené depuis plus de 15 ans, se concrétise par la publication de cartes d'aléas auxquelles les communes se réfèrent pour mener à bien leurs projets de développement de l'urbanisation.

A la fin des années 90, la connaissance des techniques dans la gestion de l'après mines n'était pas développée. Il fallait donc capitaliser les compétences en mécanique des terrains appliquée à la mine. Quelques experts connus (E. TINCELIN, G. VOUILLE, JP PIGUET, F. WOJTKOWIAK, JP JOSIEN), ayant réalisé des études dans les mines de fer de lorraine ont été ainsi rappelés pour constituer le comité.

Le développement des connaissances dans la gestion des aléas et risques dans le bassin ferrifère lorrain avait donc débuté à cette période.

Le comité d'experts « fer » validait systématiquement toutes les études d'aléas mouvement de terrain menées par GEODERIS.

La méthodologie développée pour ces études s'est basée sur une hiérarchisation multicritères faisant intervenir à partir des propriétés mécaniques du minerai de fer et de la rétro-analyse d'évènements passés, les paramètres tels que la contrainte sur les piliers, la profondeur d'exploitation, les déformations et mise en pente prévisibles des affaissements en surface, etc. L'ensemble de ces paramètres ont permis pour chacune des zones géométriquement homogènes d'exploitation définies (plusieurs milliers de zones), d'établir les calculs de leur stabilité à long terme et les caractéristiques des cuvettes d'affaissement redoutées. La participation de Gérard VOUILLE à ces études a été fondamentale dès le développement méthodologique notamment par ces travaux les propriétés mécaniques des différentes couches de minerai de fer et des formations de couverture qui ont permis de caler les paramètres de hiérarchisation, en particulier la résistance ultime du minerai.

Hommage à Gérard Vouille

Sel Gemme : complexité et problématiques à l'échelle industrielle

Benoit Brouard

Brouard Consulting

Le sel gemme est un matériau atypique dont l'étude du comportement a déjà mobilisé plusieurs générations de chercheurs, mais qui n'a pas encore révélé toute sa complexité. Les méthodes d'analyses au laboratoire et la mise au point de modèles de comportement toujours plus sophistiqués, dont Gérard Vouille a été un des grands promoteurs, se sont développées en même temps que l'industrie du stockage souterrain et de la production de sel. Des problèmes de comportement à court, moyen et long terme des ouvrages réels sont apparus alors même que ceux-ci n'avaient pas été anticipés lors de la création des premières cavernes. Cette présentation exposera les caractéristiques originales du sel gemme ainsi que des cavités salines qui sont créées par dissolution dans les formations salifères, en montrant les difficultés pouvant apparaître à l'échelle des ouvrages réels et les solutions pouvant être mises en œuvre pour y remédier.

Contraintes internes dans les éprouvettes de roche

Pierre Bérest

LMS, Ecole Polytechnique

On parle de contraintes internes lorsque le champ de contraintes dans une éprouvette est non nul même lorsque celle-ci n'est soumise à aucune force de volume ou de surface. Cette notion est importante pour les roches profondes dont l'élaboration, au contraire des objets manufacturés, ne s'est pas faite dans les conditions de pression atmosphérique et qui ont – comme le bois des arbres – subi des transformations complexes lors de leur élaboration. Une de ses manifestations est le discage des carottes – qui peut avoir d'autres origines. Avec Gérard Vouille, on a décrit les contraintes internes pour des comportements avec déformation initiale (à contrainte nulle) non compatible et calculé les contraintes internes dans des éprouvettes cylindriques non chargées.

CFMR