

# COMITE FRANCAIS DE MECANIQUE DES ROCHES



Orléans, le 28 octobre 2005

<http://www.geotechnique.org>

e-mail: [cfmr@brgm.fr](mailto:cfmr@brgm.fr)

**Le secrétaire général**

S. GENTIER

BRGM/CDG/ENE

Avenue Claude Guillemin

B.P. 6009, 45060 Orléans Cedex 2, France

Tél : (33) 02.38.64.38.77

assistée de E. ORTEGA

Tél : (33) 02.38.64.39.61

Fax : (33) 02.38.64.33.34

## INVITATION

L'Assemblée Générale annuelle du CFMR aura lieu le

**jeudi 8 décembre 2005**  
**à 13h30 pour l'ouverture du vote**  
**à 14h00 pour le démarrage de l'assemblée générale**  
**Amphi Dufresnoy (V334)**  
à l'Ecole des Mines de Paris  
60 Boulevard Saint-Michel  
Paris 6ème

L'ordre du jour de cette Assemblée Générale sera le suivant :

- Ouverture de l'assemblée générale par le Président;
- Rapport moral du président;
- Rapport financier du trésorier;
- Approbation des comptes et du montant de la cotisation;
- Questions diverses;
- Election pour le renouvellement de quatre membres du Conseil du CFMR.

Les quatre membres sortants sont :

- D. Fourmaintraux
- S. Gentier
- M. Ghoreychi
- V. Merrien-Soukatchoff

Se représentent :

- **D. Fourmaintraux** : Conseiller Géomécanique Senior pour TOTAL E&P (Centre Scientifique et Technique, 64018 PAU), Dr ès Sciences  
*Parcours professionnel:* Après avoir consacré 15 ans au génie civil (tunnelling, terrassements, granulats et carrières et ouvrages souterrains) à travers la charge de laboratoires d'essais de Mécanique des Roches (12 ans au LCPC 3 ans à EDF), D.Fourmaintraux a consacré les vingt suivants au génie pétrolier en montant le laboratoire de Géomécanique d'Elf-Aquitaine à Pau et en introduisant dans le forage et le réservoir engineering les approches issues des ouvrages

## COMITE FRANCAIS DE MECANIQUE DES ROCHES

souterrains et du génie minier à travers des études opérationnelles et des programmes de R&D. Conseiller senior depuis quelques années au sein de la Division Opérations de TOTAL Exploration-Production .

Depuis quelques années, il est principalement impliqué dans l'évaluation de la tenue et de l'étanchéité des puits et stockages souterrains d'hydrocarbures et leurs conséquences sur la sûreté et l'environnement à court et long terme

*Parcours professoral* : Chargé du cours d'initiation à la Mécanique des Roches à l'Institut Polytechnique (ex-IST Institut des Sciences et Techniques) de l'Université Paris VI et il est responsable pédagogique de plusieurs sessions pour la Direction de la Formation Continue de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

- **S. Gentier** : Chef de projet au BRGM, Responsable de programme « Capture et stockage du CO<sub>2</sub> » à l'Agence Nationale de la Recherche.  
Docteur en Mécanique des Roches, Titulaire d'une Habilitation à Diriger des Recherches  
Professeure associée à l'université du Québec à Chicoutimi (Canada) depuis 1995  
Secrétaire général du CFMR depuis 1996  
Vice Présidente du CFMR depuis 2003  
Spécialité : Hydromécanique des massifs rocheux fracturés (expérimentation en laboratoire et modélisation)  
Domaines d'activité : stockage souterrain de déchets radioactifs, réservoirs pétroliers, géothermie profonde.  
Auteur ou co-auteur d'environ quatre-vingt publications, encadrement de thèses et participation à des enseignements dans le cadre de formations universitaires.
  
- **M. Ghoreychi** : Directeur des Risques du Sol et du Sous-sol à l'INERIS (Institut National de l'Environnement industriel et des Risques)  
Président du Comité Français de Mécanique des Roches, depuis mars 2003  
Ancien Directeur du Groupement pour l'étude des Structures Souterraines de Stockage, à l'Ecole Polytechnique  
Membre de plusieurs instances d'expertise auprès des Pouvoirs Publics (Ministère chargé de l'Industrie, Ministère chargé de l'Environnement, Autorité de Sûreté Nucléaire) et conseils et commissions scientifiques.  
Auteur ou co-auteur d'une centaine de publications (géotechnique, phénomènes couplés, rhéologie, expérimentations in situ) et encadrement d'une dizaine de thèses de doctorat.

Se présente :

**J. Riss** : Ingénieur ENSG, ENSPM, docteur d'état ,  
Professeur à l'université Bordeaux 1,  
Directeur du CDGA (Centre de développement des géosciences appliquées)  
laboratoire pluridisciplinaire [www.u-bordeaux1.fr/cdga/](http://www.u-bordeaux1.fr/cdga/)  
Directeur du master Génie Géologique et Génie civil de l' université Bordeaux 1.  
Spécialisée dans le développement et l'utilisation des méthodes de l'analyse d'image, de la stéréologie, du traitement des données pour une description quantitative des textures et des structures des roches et des massifs rocheux pour en comprendre le comportement mécanique, hydraulique etc.  
Membre du comité éditorial de la revue Image Analysis and Stereology.  
Encadrement et coencadrement depuis une dizaine d'années d'une HDR, de dix thèses et quinze DEA; auteur ou coauteur de quatre vingt publications.

# COMITE FRANCAIS DE MECANIQUE DES ROCHES

**Il est rappelé que seuls peuvent participer au vote les membres du CFMR - individuels ou collectifs - à jour de leur cotisation.**

Si vous ne pouvez pas assister à l'Assemblée Générale, vous trouverez, ci-joint un bulletin de vote que je vous demande de bien vouloir m'adresser, sous double enveloppe, pour le **5 décembre 2005** au plus tard, **en n'omettant pas de mentionner votre nom sur l'enveloppe extérieure**, l'enveloppe intérieure, contenant le bulletin de vote, devant rester vierge.

Nous vous rappelons, que conformément aux statuts, les décisions lors de l'assemblée générale sont prises à la majorité simple des membres présents. Le vote par procuration n'est pas autorisé.

\*\*\*\*\*

L'Assemblée Générale sera suivie d'une séance technique organisée par A. Pouya (LCPC):

## ***"Couplage perméabilité-endommagement des roches"***

La séance se clôturera vers 17h00 par un pot amical qui permettra aux participants et conférenciers de fêter la Ste Barbe. Les membres du Conseil espèrent que vous serez nombreux à honorer cette invitation de votre présence.

S. GENTIER  
Secrétaire Général

**" Couplage perméabilité-endommagement des roches "**

\*\*\*\*\*

Le programme de la séance

\*\*\*\*\*

**o 14h30 – 15h : Modélisation numérique du couplage entre l'endommagement et la perméabilité des roches** : Ahmad Pouya, Keyvan Maleki (LCPC, G.3S-LMS)

**o 15h – 15h30 : Une méthode efficace pour le dimensionnement des gaines de ciment des cuvelages de puits inspirée de la méthode convergence confinement** : Axel-Pierre Bois (CurisTech), Dominique Fourmaintraux (TOTAL Exploration & Production)

**o 15h30 – 16h15 : Propriétés structurales et hydrauliques de la zone endommagée par le creusement dans l'Argile à Opalinus, laboratoire souterrain du Mont Terri, Suisse** : Paul Bossart (FOWG, Suisse), Peter Blümling (Nagra)

**o 16h15 – 17h : Discussion**

*" Couplage perméabilité-endommagement des roches "*

\*\*\*\*\*

**MODELISATION NUMERIQUE DU COUPLAGE ENTRE L'ENDOMMAGEMENT ET LA  
PERMEABILITE DES ROCHES**

*Ahmad Pouya, Keyvan Maleki (LCPC, G.3S-LMS)*

La fissuration des roches peut augmenter de plusieurs ordres de grandeur leur perméabilité. L'objectif du présent travail (thèse de Keyvan Maleki) est d'établir un modèle reliant les tenseurs d'endommagement et de perméabilité des roches fissurées, plus particulièrement les argilites. Le cadre et les hypothèses permettant d'établir un tel modèle de manière pertinente sont d'abord discutés. Ce modèle est ensuite déduit de la simulation numérique des propriétés de perméabilité et d'endommagement d'un milieu fissuré.

Les fissures sont modélisées sous forme de disques dans l'espace dont la répartition des rayons, orientations et ouvertures obéissent à des lois statistiques dépendant de la nature (compression, extension), de la direction et du niveau de chargement appliqué (Thikhomirov, Neikamp et Steine 2001). Nous supposons que ces fissures se superposent à un réseau de pores connectés assurant une perméabilité initiale du matériau non endommagé. Les paramètres numériques de ces réseaux de fissures et de pores sont identifiés à partir des données d'expériences ou d'observations disponibles sur la fissuration et la perméabilité des argiles étudiées (Chiarelli 2000, Bounenni 2002, Escoffier 2002, Aublivé 2002).

Pour un état de fissuration donné, nous calculons le tenseur d'endommagement (Oda 1983) et de perméabilité du matériau. Le tenseur de perméabilité est calculé en simulant l'écoulement à travers le réseau percolant des fissures et des pores. Des méthodes et outils numériques spécifiques pour le calcul de la perméabilité équivalente de ce réseau de fissure ont été développés. L'étude des corrélations entre les valeurs de perméabilité et d'endommagement, obtenues de cette façon pour différents états de fissuration, nous a permis d'établir un modèle reliant la perméabilité à l'endommagement pour les argiles raides. Ce modèle a été implanté dans le code aux éléments finis CESAR-LCPC, et appliqué au calcul du débit d'exhaure dans une galerie dans des argilites. On peut comparer de cette façon le débit entrant dans la galerie qui résulte de la perméabilité naturelle et celui qui résulte de l'accroissement de perméabilité provoqué par l'endommagement de la roche autour de l'ouvrage.

*" Couplage perméabilité-endommagement des roches "*

\*\*\*\*\*

**UNE METHODE EFFICACE POUR LE DIMENSIONNEMENT DES GAINES DE CIMENT  
DES CUVELAGES DE PUIITS INSPIREE DE LA METHODE CONVERGENCE  
CONFINEMENT**

*Axel-Pierre Bois (CurisTech)*

*Dominique Fourmaintraux (TOTAL Exploration & Production)*

Safety of gas reservoir production and/or of gas underground storage is related to the sealing efficiency of the cement sheaths around the wellbore. It has been shown that cement sheath leakage should not only be analyzed according to a chemical view but also according to a mechanical view (SPE 38598) and analytical/numerical models have been developed with which designers can evaluate the state of stress in the cement sheath. Unfortunately, these models appear to have two major drawbacks:

1. they evaluate the state of stress in the cement sheath but not the effective risk of gas leakage through the cement sheath;
2. they are using some unrealistic hypotheses, in particular regarding to cement shrinkage and state of stress.

This has led us to develop a new model, imagined from our shared experience with tunnelling, inspired from the based on the "SRC system response curve" or "convergence confinement" method". We proceed in six steps:

1. Divide the wellbore into its components (formation, cement sheath, casing, etc.);
2. Determine which component interactions are important to our problem;
3. Evaluate the various component response curves;
4. Match the various component response curves to evaluate the state of equilibrium of the cement sheath at the various phases of the wellbore life;
5. Translate this state of equilibrium into leakage information;
6. Perform sensitivity analysis to optimize the cement sheath design.

This method allows to replace complex wellbore simulations (a fully coupled thermoporochemico-mechanical model able to simulated debonding) by more simple wellbore component simulations (i.e. debonding is observed as a mismatch between the response curves of the casing and of the cement sheath). As a consequence, it is possible to use more improved models to simulate cement shrinkage (we use a poro-chemico-mechanical approach) and it is easy to perform sensitivity analysis.

This approach lead to a new "language" which, when used by an engineer, helps him optimizing his design.

" Couplage perméabilité-endommagement des roches "

\*\*\*\*\*

**PROPRIETES STRUCTURALES ET HYDRAULIQUES DE LA ZONE ENDOMMAGEE PAR  
LE CREUSEMENT DANS L'ARGILE A OPALINUS, LABORATOIRE SOUTERRAIN DU  
MONT TERRI, SUISSE**

Paul Bossart (FOWG -Federal Office for Water and Geology)

Peter Blümling (Nagra - National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste)

Le réseau de fractures de la zone endommagée par le creusement (abrégé EDZ en anglais) dans la formation de l'Argiles à Opalinus, dans le laboratoire souterrain du Mont Terri en Suisse, a été caractérisé à partir d'études structurales et hydrogéologiques. La méthodologie des techniques appliquées est décrite, suivie de la présentation des résultats de recherche. Les réponses hydro-mécaniques de l'EDZ sont également abordées.

**Caractérisation structurale de l'EDZ:** un réseau de fractures, connecté avec le tunnel, a été identifié dans le premier mètre derrière les parois du tunnel. Des fractures dites « breakouts » induites par les contraintes et l'anisotropie ont été observées dans les tunnels sans soutènement ainsi que dans les forages. Leur formation dépend largement de l'orientation des galeries. Le mécanisme responsable de la création des breakouts liés aux contraintes est la fracturation cassante en mode d'extension, résultant de fortes contraintes déviatoriques et de la redistribution des contraintes lors d'excavations. Les breakouts liés à l'anisotropie se manifestent par des mouvements de cisaillement le long des plans de stratification et de failles, dus à une résistance au cisaillement limitée et cohésion plus faible le long de ces plans.

**Caractérisation hydraulique de l'EDZ:** Les perméabilités au gaz varient entre  $1E-14$  et  $1E-11$   $m^2$  dans les 40 premiers cm derrière les parois de la galerie. Les réactions très diverses révèlent d'importantes hétérogénéités locales du réseau de fractures de l'EDZ. Les estimations de la conductivité hydraulique et de la transmissivité d'une EDZ saturée en eau sont cruciales pour l'analyse de sécurité des scénarios envisagés pour des entreposages potentiels. Par conséquent, après réalisation de tests pneumatiques, des mesures hydrauliques entre plusieurs forages ont été menées par injection d'eau artificielle et d'eau désionisée à travers l'EDZ. Les transmissivités hydrauliques estimées par des solutions analytiques, variant entre  $2E-8$  et  $6E-7$   $m^2/s$ , sont d'ordres de grandeur supérieurs à celles mesurées dans la roche saine non affectée par l'EDZ. La répétition régulière des hydrotests aboutit à une décroissance des transmissivités d'un ou deux ordres de grandeur sur une période d'environ 2.5 années. Ces observations témoignent de l'auto-cicatrisation des fractures initialement très transmissives par la saturation de l'EDZ.

**Réponses hydro-mécanique dans l'EDZ:** les mesures de pression interstitielle proches de galeries récemment excavées fournissent des indications de réponses hydro-mécaniques. La perturbation de la pression porale affecte la stabilité et la fracturation de la roche au voisinage des galeries et forages. Un exemple de réponse hydro-mécanique va être présenté.