

COMITE FRANCAIS DE MECANIQUE DES ROCHES



Orléans, le 1^{er} février 2007

<http://www.geotechnique.org>

e-mail: 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 15 mars 2007

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. Billaux
- J. Launay
- F. Pellet
- T. You

Se représentent :

D. Billaux :

Docteur en hydrogéologie de l'ENSMP, M Sc., Civil Engineering, Université de Stanford (Etats-Unis), Ingénieur Civil des Ponts et Chaussées, 1979.

D. Billaux est président de Itasca Consultants S.A.S. et trésorier du CFMR. Il travaille depuis 25 ans sur les applications de la modélisation numérique pour les Sciences de la Terre : Mécanique des Roches, Hydrogéologie, Mécanique des Sols.

COMITE FRANCAIS DE MECANIQUE DES ROCHES

Il a participé à (ou dirigé) des développements de codes de calcul, des programmes internationaux de modélisation dans le cadre de projets de stockage de déchets radioactifs en formations géologiques profondes (France, Suisse, Suède, Grande-Bretagne, Etats-Unis, Canada), des calculs divers en géomécanique (stabilité au séisme, calcul de cavités souterraines, mine, fondations, glissements de terrain...). Il a également une activité régulière de formateur en modélisation numérique pour l'Hydrogéologie, la Mécanique des Sols, la Mécanique des Roches.

- **J. Launay** : Ingénieur Conseil.

Ingénieur de l'Ecole Supérieure des Travaux Publics (Paris, 1964).

J. Launay a commencé sa carrière comme ingénieur à l'Ecole Française d'Extrême Orient (Cambodge). Il a ensuite successivement travaillé à TAMS (USA), Campenon Bernard (France) et DUMEZ-GTM jusqu'en 2000, où il a occupé les postes de Directeur du Département Géotechnique, Tunnels, Barrage puis de Conseiller technique de la Direction Générale.

Expert auprès de la cour d'appel de Paris : géotechnique, travaux souterrains, mines et carrières,

Expert auprès de l'UNESCO : restauration de monuments anciens (Angkor),

Membre de la Commission Exécutive du Comité Français des Grands Barrages,

Vice-Président du Comité Béton de la C.I.G.B (Comité International des Grands Barrages),

Président du Comité français de la Mécanique des Sols (2002-2006),

Membre du Comité Technique de l'AFTES,

Professeur à l'Ecole Centrale de Lyon (tunnels) et à l'E.N.P.C. (Méthodes de construction des barrages), à l'Ecole des Mines de Paris (Excavations en Tunnels et en Fouille Blindée),

Membre de plusieurs comités d'experts entre 1999 et 2005 .

F. Pellet :

Ingénieur en génie civil, Docteur ès sciences et techniques de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Habilité à diriger des Recherche (HdR).

Professeur associé à l'Ecole Polytechnique de l'Université de Grenoble et chercheur au laboratoire Sols, Solides, Structures (3S).

Activités d'enseignement : Mécanique des roches, Conception des ouvrages souterrains, Modélisation numérique des ouvrages géotechniques. Membre de la Commission Education de la Société Internationale de Mécanique des Roches.

Activités de recherche et d'expertise : Comportement différé des roches, Ouvrages souterrains de stockage, Stabilité des massifs rocheux sous sollicitations sismiques.

T. You : Ingénieur Civil des Mines (Nancy), Master of Sciences (Geotechnical, Stanford).

Après six années passées en entreprises et bureaux d'études sol et sous-sol, T. You a rejoint Géostock en 1985. Ingénieur Géotechnicien puis Ingénieur Principal, il a participé à toutes les conceptions et suivis de stabilité de cavernes souterraines de stockage réalisés par Géostock depuis vingt ans sur tous les continents. T. You a été également responsable de la coordination technique de différents ouvrages souterrains et de divers projets de R&D dans le domaine de la Mécanique des Roches, à ce titre a également été membre de nombreux groupes de travail et jurys de thèses.

COMITE FRANCAIS DE MECANIQUE DES ROCHES

Membre du conseil depuis 1994, a été Trésorier jusqu'en 2003 puis Vice-Président et chargé de la Commission Scientifique et Technique depuis lors.

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 **12 mars 2007** 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 D. Fabre (CNAM) :

" Etats de contraintes dans les massifs : retours d'expériences "

S. GENTIER
Secrétaire Général

" Etats de contraintes dans les massifs : retours d'expériences "

Le programme de la séance

- Introduction** - D. Fabre (CNAM)
- De la mécanique des roches à la géomécanique crustale : l'étude des champs de contrainte naturels** - F. Cornet (IPGP)
- Mesures de contraintes naturelles sur le site du laboratoire pilote des « Rochers de Valabres »** - C. Dunner (INERIS), C. Clément (LAEGO-INERIS), V. Merrien-Soukatchoff (LAEGO), P. Bigarré (INERIS)
- Détermination et interprétation d'un profil de contraintes dans l'Est du bassin de Paris (laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne)** - Y. Günzburger (LAEGO) et Y. Wileveau (ANDRA)
- Mesures de contraintes près de Modane (projet L. T. F.). Influence de la topographie et des conditions tectoniques sur le champ des contraintes naturelles** – B. Mayeur (Coyne & Bellier) et D. Fabre (CNAM)
- Discussion**

" Etats de contraintes dans les massifs : retours d'expériences "

INTRODUCTION

Denis FABRE (Conservatoire National des Arts et Métiers - Paris)

Le champ des contraintes naturelles (Σ_0) est une caractéristique intrinsèque des terrains, parfois caractérisable par un scalaire K_0 , mais plus souvent par un tenseur adimensionnel (K_0) dont la détermination fait partie de la reconnaissance du milieu. Ses composantes interviennent dans la conception et la réalisation d'ouvrages souterrains ou même de surface (barrages, pentes).

Loin de la surface topographique ou sous un relief subhorizontal, (Σ_0) présente une direction principale verticale et une homogénéité dans le plan horizontal ; il se caractérise alors par cinq paramètres : un angle α (azimut de σ_H), deux coefficients (K_{0H} et K_{0h}) et deux contraintes horizontales de surface (σ_{H0} et σ_{h0}). Les valeurs de ces paramètres et notamment le classement des scalaires principaux (K_{0H} , K_{0h} , 1) sont nettement reliés à l'histoire des déformations tectoniques du secteur ...

**MESURES DE CONTRAINTES NATURELLES SUR LE SITE
DU LABORATOIRE PILOTE DES « ROCHERS DE VALABRES »**

*Clémence DÜNNER¹, Cécile CLEMENT²,
Véronique MERRIEN-SOUKATCHOFF³, Pascal BIGARRE¹*

¹ Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), Ecole des Mines de Nancy.

² LAEGO-INERIS, Ecole des Mines de Nancy.

³ Laboratoire Environnement Géomécanique et Ouvrages (LAEGO), Ecole des Mines de Nancy.

Malgré leur impact socio-économique important sur le développement régional en zones montagneuses, les éboulements rocheux de masse constituent un aléa naturel brusque dont les mécanismes préparatoires et déclencheurs sont mal compris. On peut citer notamment l'impossibilité de connaître, de manière exhaustive, la structure et l'ensemble des propriétés physiques du massif rocheux considéré. Ces connaissances constituent un champ d'amélioration des techniques d'investigations et de mesures, et un enjeu scientifique important.

Dans le but d'améliorer la compréhension de ces phénomènes, le Site Laboratoire Pilote des « Rochers de Valabres », localisé dans les Alpes Maritimes (06) et surplombant la vallée de la Tinée, fait l'objet depuis 2002 de travaux d'étude et de recherche conduits par l'INERIS, le LAEGO et Géosciences Azur. Le Centre National de Surveillance des Risques du Sol et du Sous-sol (CENARIS, à l'INERIS-Nancy), a démarré en 2005, l'expérimentation spécifique « VAL-STRESS3D », visant notamment à caractériser au mieux le champ des contraintes naturelles qui s'exerce dans un milieu rocheux altéré.

Cet essai en grand a consisté à réaliser un profil de 6 essais de mesures de contraintes par surcarottage, depuis la surface vers le cœur du versant, sur une profondeur d'investigation supérieure à celle des masses d'éboulements elles-mêmes, en vue de quantifier à la fois les contraintes et l'hétérogénéité supposée du champ. Les mesures de contraintes ont été effectuées le long d'un forage sub-horizontal, d'un linéaire total d'environ 18m, en direction de la plus grande pente par rapport au relief surplombant

" Etats de contraintes dans les massifs : retours d'expériences "

la zone d'essai. La cellule de déformations utilisée est de type CSIRO Hi12 à inclusion souple. Cette cellule permet de mesurer un tenseur de déformation complet et d'estimer les contraintes principales ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) locales.

L'ensemble des données brutes (déformations) des six essais de surcarottage a pu être inversé et interprété. L'inversion des déformations a nécessité de déterminer au préalable les paramètres élastiques de la matrice rocheuse. Cette détermination s'avère cruciale et délicate : les données d'entrées (modules mécaniques et orientation de la foliation) sont affectées d'une incertitude importante. Ces incertitudes sont à la fois dues à l'hétérogénéité observée le long des carottes du forage (zones fracturées, foliation plissée et irrégulière) et à l'impossibilité de réaliser des essais mécaniques (essai biaxial et/ou essai labo) en chaque point de mesure. Aussi, une étude de l'influence sur le calcul des paramètres d'entrée a-t-elle été engagée afin d'analyser la sensibilité des résultats.

Les premiers résultats ont abouti à un profil de mesure de contraintes mettant en évidence des modules relativement élevés pour des mesures réalisées à proximité de la surface : entre 5 et 11 MPa pour la contrainte principale majeure. La tendance montre une variation non linéaire des modules des contraintes tandis que les orientations des contraintes le long des premiers mètres révèlent une forte influence de la topographie locale. Le profil de contraintes montre également une limite en profondeur au-delà de laquelle l'influence de la topographie et des hétérogénéités locales n'est plus perceptible. Cette observation serait cohérente avec les modélisations numériques réalisées en milieu continu, lors de la phase de dimensionnement de l'expérimentation.

L'exposé présentera en détail le Site Laboratoire Pilote des « Rochers de Valabres », la conception de l'expérimentation « VAL-STRESS3D », la méthode de mesures de contraintes par surcarottage, ainsi que les résultats des mesures de contraintes.

**MESURES DE CONTRAINTES PRES DE MODANE (PROJET L. T. F.).
INFLUENCE DE LA TOPOGRAPHIE ET DES CONDITIONS TECTONIQUES
SUR LE CHAMP DES CONTRAINTES NATURELLES.**

Bertrand MAYEUR (Coyne et Bellier, Paris) et Denis FABRE (CNAM, Paris)

Une importante campagne de mesures de contraintes a été réalisée dans le cadre des études préliminaires pour le tunnel de base franco-italien Maurienne-Ambin (53 km) de la ligne ferroviaire Lyon-Turin. Les mesures dans 16 sondages pour des profondeurs comprises entre 160 et 1140 m. sous un relief accidenté et dans des conditions géologiques complexes montrent une grande variabilité qui a nécessité une analyse rigoureuse des mesures elles-mêmes et du contexte morpho-tectonique de chaque zone.

À titre d'exemple est exposé d'abord le cas du sondage S. 23, sur le versant italien du massif d'Ambin où trente essais par la méthode H.T.P.F. ont été pratiqués pour trois zones de profondeur, entre 550 et 775 mètres de profondeur. On note qu'avec la profondeur une des contraintes principales se rapproche de la verticale. L'hypothèse d'une des contraintes principales verticale est ensuite faite dans l'interprétation de plusieurs autres cas de sondages où moins de 10 mesures par zone de profondeur étaient disponibles.

L'ensemble des résultats est ensuite présenté sous forme de « cartes » des contraintes à la profondeur du futur tunnel pour les secteurs du massif d'Ambin et de la Vallée de l'Arc près de Modane. La qualité des mesures est prise en compte et l'analyse permet de dégager certains points en accord qualitativement et parfois quantitativement avec une modélisation numérique réalisée par Mayeur (1999) sur l'influence de la topographie et des conditions tectoniques sur le champ de contraintes en terrain montagneux.

" Etats de contraintes dans les massifs : retours d'expériences "

Dans le cas d'un relief accidenté, le champ des contraintes est complexe et la notion de « champ à une contrainte principale verticale » doit être abandonnée au voisinage de la surface sur une épaisseur évaluée à environ une fois la profondeur des aspérités du relief . Les zones situées sous des fonds de vallée présentent souvent de fortes contraintes horizontales (σ_H fortement déterminé en amplitude et orientation par le contexte morpho-tectonique). Sous les versants, l'inclinaison des axes principaux peut devenir forte (une contrainte principale en surface est souvent parallèle au versant).

**DETERMINATION ET INTERPRETATION D'UN PROFIL DE CONTRAINTES
DANS L'EST DU BASSIN DE PARIS
(LABORATOIRE SOUTERRAIN DE MEUSE/Haute-MARNE)**

*Yann GUNZBURGER (LAEGO, Ecole des Mines de Nancy)
Yannick WILEVEAU, (ANDRA, Service scientifique , Bure)*

L'état de contraintes naturel dans un massif rocheux résulte à la fois des conditions de chargement actuelles (gravité et conditions aux limites) et du chemin de chargement passé (enfouissement, tectonique, érosion...) par l'intermédiaire de la loi de comportement du matériau. De ce fait, l'analyse de l'état de contraintes – pour peu qu'il soit suffisamment bien connu – peu permettre d'estimer, dans les cas simples, des propriétés rhéologiques à très long terme des terrains qui sont hors de portée des méthodes de caractérisation habituelles. Nous illustrerons ce propos par le cas de l'Est de bassin de Paris.

L'ANDRA a réalisé au voisinage du laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne une vaste campagne de détermination de l'état de contrainte naturel dans la formation d'argilites callovo-oxfordiennes ainsi que dans les formations calcaires sous- et sus-jacentes. Dans ce dessein, il a été fait appel en parallèle à différentes techniques classiques de mesure de contraintes (fracturation hydraulique, HTPF, sleeve reopening) ainsi qu'à l'analyse systématique des déformations et ruptures en paroi (convergence dans les puits, breakouts dans les forages).

Il en ressort un profil vertical de contraintes remarquablement complet et continu à travers l'alternance argilo-calcaire, avec une excellente résolution sur les contraintes principales verticale (σ_v) et horizontale mineure (σ_h). Par ailleurs, le recoupement des différentes sources d'information a permis de diminuer largement l'incertitude qui pèse généralement sur la détermination de la contrainte horizontale majeure (σ_H). La première partie de l'exposé fera la synthèse de ces résultats, soulignera les principales sources d'incertitude et indiquera comme elles ont pu être minimisées.

La seconde partie de l'exposé s'attachera à esquisser une interprétation de l'état de contraintes actuel en s'intéressant à la signification de ses variations latérales et verticales par rapport aux conditions de sa mise en place et à la rhéologie des matériaux impliqués à l'échelle de temps du million d'année. En effet, les résultats concernant l'orientation de σ_H présentent une variabilité spatiale qui ne saurait être imputée aux seules incertitudes météorologiques. Par ailleurs, la magnitude des contraintes horizontales montre une forte corrélation avec la lithologie dont l'interprétation n'est pas immédiate, σ_h étant nettement plus élevée dans les argilites que dans les calcaires (pourtant plus rigides) alors que σ_H augmente régulièrement avec la profondeur. Nous montrerons que la déformation à long terme des formations carbonatées par pression-solution peut permettre d'expliquer cette observation.

" Etats de contraintes dans les massifs : retours d'expériences "

**DE LA MECANIQUE DES ROCHES A LA GEOMECHANIQUE CRUSTALE :
L'ETUDE DES CHAMPS DE CONTRAINTE NATURELS**

François Henri CORNET (Institut de Physique du Globe de Paris)

Qu'il s'agisse par exemple du stockage des déchets radioactifs ou du CO₂ ou encore de la compréhension de l'évolution des réservoirs pétroliers ou de la sismicité induite par le développement de la géothermie, un certain nombre de problèmes actuels de mécanique des roches sont très proches de ceux de la géomécanique crustale. Les questions posées impliquent des échelles de temps dépassant souvent le millier d'années et la modélisation des phénomènes implique des volumes dont l'ordre de grandeur est le millier, voire la dizaine de milliers de kilomètres cube. L'analyse de profils de contrainte, c'est-à-dire des variations de toutes les composantes du tenseur de contrainte dans des directions privilégiées, permet de préciser certaines caractéristiques mécaniques des composants mis en jeux.

Après avoir évoqué la question du découplage induit par le Keuper salin dans les terrains sédimentaires du nord de l'Europe, on discutera des conditions d'équilibre dans les terrains granitiques de Soultz pour aborder la question de la signification de la sismicité induite sur ce site. Cette notion de sismicité induite sera ensuite rediscutée dans le cadre du développement du champ géothermique de Tongonan, sur la faille des Philippines. Finalement les résultats récents de campagnes de mesures de contrainte dans le granite du bouclier scandinave permet de montrer les limites des hypothèses simplificatrices quant aux variations de contrainte avec la profondeur dans cette région affectée par le « rebond » de l'époque glaciaire.