



CFMR

## Comité Français de Mécanique des Roches

Co-organisée avec le CFMS et le CFGI



### Séance technique : Roches Tendres, Sols Indurés

Organisée par Muriel Gasc et Siavash Ghabezloo (CFMR), Olivier Cuisinier (CFMS), M. Brisebarre (CFGI)

Jeudi 18 Mars 2020 de 14h00 à 17h15

- 14 : 00** Les sols indurés et les roches tendres dans les projets  
*Jean François Serratrice (Cerema Méditerranée)*
- 14 : 30** Propriétés des terrains briovériens du bassin rennais  
*J Damien Rangeard (INSA, Rennes), Véronique Merrien-Soukatchoff (CNAM, Paris)*
- 15 : 00** Analyse microstructurale de la transition frottement - cohésion dans les sables biocimentés  
*Fabrice Emeriault (Laboratoire 3SR - Université Grenoble Alpes)*
- 15 : 30** Les caractéristiques anisotropes de l'argilite sous charges mécaniques et thermiques  
*Philipp Braun (Laboratoire Navier, École des Ponts ParisTech)*
- 16 : 00** Geotechnical classification of weak and complex rock masses with the GSI system: Maintaining the geological particularities  
*P. Marinos (National Technical University of Athens, Vice-président Europe du CFGI)*
- 16 : 30** Défis posés par le dimensionnement et l'installation des éoliennes offshore dans les roches tendres du plateau continental français  
*Alain Puech (Fugro)*
- 17 : 00** Discussion
- 17 : 15** Fin de la séance

# CFMR

# Les sols indurés et les roches tendres dans les projets

Jean François Serratrice

Cerema Méditerranée

Les sols indurés et les roches tendres se définissent par leur lithologie (nature et propriétés de la roche à l'échelle d'un échantillon, d'une couche ou d'une formation géologique), le processus de leur formation (diagenèse ou altération), leur état (compacité, fissuration, altération, contraintes géostatiques), leurs propriétés mécaniques (raideur, résistance, gonflement). Mais il n'existe pas de définition formelle. Ces terrains présentent une large variété de natures et d'états. Ils possèdent des caractéristiques mécaniques intermédiaires entre les sols et les roches. Mais leur classification fondée sur la résistance ne donne qu'une indication globale sur leur nature et leurs comportements. Ils sont largement présents en France, en Europe et dans le monde. Plusieurs congrès ont été consacrés aux sols indurés et roches tendres.

Après le rappel de ces généralités, l'exposé évoque divers aspects du comportement mécanique des sols indurés et des roches tendres, en termes de résistance, de fluage et de gonflement. Des exemples montrent des courbes expérimentales issues d'essais de laboratoire réalisés sur des marnes. Il est fait mention des effets de structure (combinaison entre texture et liaisons inter-particulaires) et des effets de la fissuration souvent présente dans ces terrains. Puis il est question de l'état des contraintes dans les massifs. Des illustrations sont données ensuite à propos des reconnaissances des sols indurés et des roches tendres dans les projets (prélèvements, essais in-situ, diagraphies, ouvrages d'essais). Pour finir, des exemples présentent des ouvrages de divers types ou des sites naturels qui sont souvent concernés par les sols indurés et les roches tendres (fondations, excavations, tunnels, renforcements, terrassements, versants instables, pentes).

# CFMR

## Propriétés des terrains briovériens du bassin rennais

Damien Rangeard<sup>1</sup>, Véronique Merrien-Soukatchoff<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INSA Rennes

<sup>2</sup>CNAM, Paris

Le bassin rennais est composé de terrains briovériens, majoritairement de type schisteux, fracturés et présentant des degrés d'altération variables. Ce sont des matériaux de faible résistance qui peuvent être classés comme SIRT (Sols indurés et Roches tendres).

Pendant plusieurs années, différents types d'essais ont été réalisés à l'INSA de Rennes sur ces matériaux briovériens pour définir les caractéristiques et ainsi appréhender le comportement des ouvrages géotechniques réalisés dans le sous-sol rennais, notamment dans le cadre de l'excavation de la ligne b du métro.

Compte tenu du comportement intermédiaire entre le sol et la roche de ces matériaux, des procédures spécifiques d'essais sur les fractures et la matrice rocheuse ont été développés.

Les discontinuités ont été testées avec une boîte de Casagrande modifiée car l'essai "classique" de mécanique des roches n'était pas réalisable. Ces essais ont notamment mis en évidence la forte influence du type de matériau (siltites fines à grossières, grès...) et du degré d'humidité des joints sur les caractéristiques de cisaillement.

La matrice rocheuse, anisotrope a été caractérisée par des mesures de vitesse d'ondes et des mesures de résistance à la compression. Cependant compte tenu de l'impossibilité de carotter le matériau, les essais ont dû être réalisés sur des blocs parallélépipédiques taillés à la main. En complément, pour évaluer le caractère « friable » de ces SIRT, la résistance à l'usure a été caractérisée à partir d'essais de broyabilité et Micro-Deval modifiés.

Une différenciation de comportement entre différents faciès géologiques du briovérien depuis les siltites fines jusqu'au grès grossiers a pu être mise en évidence. Une connaissance géologique précise permet donc de mieux expliquer le comportement mécanique des matériaux, cependant il est difficile de trouver des indicateurs simples pertinents permettant d'apprécier les caractéristiques mécaniques à partir des échantillons extraits des campagnes d'investigations géotechnique.

# CFMR

# Analyse microstructurale de la transition frottement - cohésion dans les sables biocimentés

Fabrice Emeriault

3SR, Université Grenoble Alpes

Le procédé de bio-cimentation est une technique prometteuse pour renforcer les sols lâches et de faible résistance mécanique. Cette technique a montré une très bonne efficacité pour plusieurs types de sols lors d'essais en laboratoire, dans des modèles physiques ou lors d'essais sur site.

Un protocole spécifique de bio-cimentation de sol par injection a été élaboré en laboratoire pour préparer des éprouvettes de sable de Fontainebleau à différents niveaux de cimentation. Des essais triaxiaux drainés réalisés sur ces éprouvettes montrent que la résistance du sable biocimenté est fortement améliorée par rapport à celle du matériau initial non traité. La cohésion et l'angle de dilatance évoluent de manière non-linéaires avec la fraction massique de calcite alors que l'angle de frottement augmente de manière quasi-linéaire.

Des observations au microscope électronique à balayage (MEB) de différents échantillons cimentés permettent de caractériser de manière qualitative le processus de biocalcification, en particulier que la calcite a précipité principalement au niveau des contacts entre particules et se présente sous forme de cristaux de grande taille (5-15  $\mu\text{m}$ ).

Des observations en micro-tomographie RX ont fourni des informations quantitatives sur l'évolution de la microstructure induite par la bio-cimentation (nombre de contacts, nombre de coordination, surface des contacts, orientation des contacts, ...).

L'ensemble des résultats que ce soit à l'échelle de l'échantillon ou à celle de microstructure soulignent l'existence d'une zone de transition frottement-cohésion (entre 4% et 8% de calcite en masse) dans laquelle le comportement mécanique évolue rapidement de celui d'un sable propre à celui d'une roche tendre.

# CFMR

# Les caractéristiques anisotropes de l'argilite sous charges mécaniques et thermiques

Philipp Braun

Ecole Centrale de Nantes

L'argilite du Callovo-Oxfordien (COx) est une roche hôte potentielle pour le stockage géologique profond des déchets radioactifs en France. Les études menées par l'Andra concernent le comportement hydromécanique de la roche dû à l'excavation des galeries ainsi que la réponse thermo-hydro-mécanique (THM) résultant de la chaleur produite par les colis de déchets exothermiques.

Un programme expérimental a été mené pour caractériser la réponse de l'argilite du COx sous différentes sollicitations THM dans un cadre thermo-poro-élastique isotrope transverse.

Comme l'argilite du COx a une très faible perméabilité, les expériences en laboratoire doivent être adaptées pour de longues durées de saturation et de drainage. Une nouvelle procédure de chargement transitoire plus efficace en termes de temps a été mise au point pour les essais isotropes sous charge thermique et mécanique.

A partir des données d'essais mécaniques, on a étudié les propriétés poroélastiques des échantillons de roche saturée. Ces essais ont fourni un jeu compatible de paramètres de matériaux, et ce sous différents niveaux de contrainte, mettant en évidence une anisotropie significative.

Des essais thermiques ont été réalisés pour déterminer les coefficients de dilatations thermiques drainée et non drainée dans les deux directions isotropes transverses. La mesure des variations de pression interstitielle dans des conditions non drainées a donné le coefficient de pressurisation thermique, avec une dépendance aux contraintes et à la température.

À l'aide d'un système triaxial spécialement adapté et novateur, les échantillons ont été chauffés sous condition de déformation latérale nulle jusqu'à ce que les surpressions interstitielles thermiques provoquent des contraintes de traction qui ont fini par fracturer le matériau à des contraintes axiales effectives d'environ -3,0 MPa. Ces essais ont permis de définir un critère de rupture en tension et d'analyser les déformations observées en extension.

# CFMR

# Défis posés par le dimensionnement et l'installation des éoliennes offshore dans les roches tendres du plateau continental français

Alain Puech  
FUGRO France

La plupart des sites sélectionnés pour l'implantation des éoliennes offshore fixes sur le plateau continental français sont caractérisés par la présence de roches tendres en surface ou à faible profondeur, principalement craies, calcarénites et marnes. Cette situation est inédite pour l'industrie éolienne, à l'exception des craies déjà rencontrées au large des côtes britanniques.

Les défis posés s'expriment aussi bien en termes d'installation des fondations sur pieux (battage difficile, recours au forage en grands diamètres) qu'en termes d'ingénierie. En effet le dimensionnement des fondations d'éoliennes (monopieux, embases gravitaires, jackets sur pieux) est fortement conditionné par la valeur des périodes propres de fondation qui doivent être évaluées avec une grande précision et dont l'évolution avec le nombre de cycles de chargements doit être appréhendée. La connaissance du module de cisaillement des massifs rocheux en place est une gageure récurrente.

On s'attachera à rappeler le contexte et expliciter les enjeux. On s'intéressera au domaine réglementaire et on abordera les apports innovants des projets de recherche en cours sur le plan français et international (SOLCYP+, ARSCOP, ALPACA, PISA)

# CFMIR