

jngg
2018

9^{èmes} JOURNÉES
NATIONALES
de géotechnique et de
géologie de l'ingénieur

13 - 15
Juin 2018

ECOLE DES
PONTS PARISTECH
IFSTAR
MARNE LA VALLÉE

PROGRAMME RECUEIL DES RÉSUMÉS

« Ressources et
aménagements :
quelles limites ? » »



INTRODUCTION

Sous l'égide des Comités Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique (CFMS), de Mécanique des Roches (CFMR) et de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement (CFG), les neuvièmes Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'ingénieur (JNGG) se sont déroulées à Marne la Vallée, sur le campus de l'Ecole des Ponts ParisTech et l'Ifsttar, du 13 au 15 juin 2018. Le thème des 9^{es} JNGG étaient « Ressources et aménagements, quelles limites ? ». Ce thème souligne le fait que toute action anthropique d'exploitation des ressources, ou d'aménagement et de construction de nouvelles infrastructures, doit respecter certaines limites afin de ne pas mettre en cause de façon irréversible l'environnement naturel et social dans lequel elles sont tenues de s'insérer. La notion de limite intègre également celles de risque - naturel ou anthropique - et d'acceptabilité des projets par la population, et marque la nécessité de dépasser les pratiques et connaissances actuelles pour l'optimisation des projets. Elle sous-entend donc la notion essentielle d'innovation qui doit guider les différentes approches de nos disciplines, au niveau des institutions de recherche et d'enseignement, des bureaux d'études ou des entreprises.

Environ 150 articles, relus et validés par deux experts indépendants, ont été acceptés. Ils sont publiés en ligne dans la collection des Actes Interactifs de l'Ifsttar (<http://www.ifsttar.fr/collections/ActesInteractifs/AII3/index.html>). Les thèmes les plus abordés sont la reconnaissance des sites, le comportement des géomatériaux, le comportement des ouvrages ainsi que leur modélisation numérique. Un intérêt a également été porté aux aspects liés aux risques, à l'environnement, aux sollicitations cycliques et dynamiques, ainsi qu'à l'amélioration et au renforcement des sols et des roches. La publication en accès libre de ces actes permet, comme l'ont fait les précédentes éditions des JNGG, d'enrichir la documentation technique et scientifique francophone relatives aux trois domaines concernés.

*Le Comité d'organisation
Pierre Delage, Christophe Chevalier, Yu Jun Cui,
Jean-François Semblat, Sabrina Chartier*



COMITÉS.....	5
ORGANISATEURS, PARTENAIRES ET SPONSORS.....	6
PROGRAMME GÉNÉRAL.....	7
PROGRAMME DÉTAILLÉ.....	11
CONFÉRENCES PLÉNIÈRES.....	27
SESSIONS PARALLÈLES, MERCREDI 13 JUIN 2018.....	37
SESSIONS PARALLÈLES, JEUDI 14 JUIN 2018.....	93
SESSIONS PARALLÈLES, VENDREDI 15 JUIN 2018.....	157
POSTERS.....	183

Comité de pilotage

Valérie Bernhardt, Présidente du CFMS
Jean Sulem, Président du CFMR
Aline Quenez, Présidente du CFGI
Pierre Delage, Président du Comité d'organisation

Comité d'organisation

Pierre Delage, Président
Christophe Chevalier
Yujun Cui
Jean-François Semblat
Sabrina Chartier

Comité scientifique

Daniel Billaux (CFMR)
Sébastien Burlon (CFMS)
Philippe Cosenza (CFMR)
Xavier Daupley (CFGI)
Guilhem Devèze (CFGI)
Jean-Louis Durville (CFGI)
Fabrice Emeriault (CFMS)
Marc Favre (CFMS)
Jean-Alain Fleurisson (CFGI)
Siavash Ghabezloo (CFMR)
Sylvine Guédon (CFGI)
Isabelle Halfon (CFMS)
Siegfried Maiolino (CFMR)
Jérôme Racinais (CFMS)

Merci aux relecteurs

M^{mes} et MM. Allagnat, Armand, Auvray, Belmokhtar, Benhamou, Bonilla, Borie, Bourdeau, Boussafir, Bruchon, Brulé, Canou, Carpinteiro, Chahine, Cojean, Corfdir, Cuira, Cuisinier, Curtil, Dangla, Deffontaines, Demay, Depardon, Dias, Doan, Donzé, Duc, Dupla, Escoffier, Flavigny, Fleureau, Frank, Fry, Gasc, Gatelier, Ghoreychi, Giraud, Gueguen, Guerpillon, Guilloux, Gunzburger, Guy, Hattab, Hemmati, Hevin, Jacquard, Lambert, Launay, Le Kouby, Lenti, Mathon, Masrouri, Maurel, Pecker, Pellet, Pereira, Pigué, Plumelle, Poilpré, Pouya, Puech, Reiffsteck, Riss, Robert, Rocher-Lacoste, Ropers, Seyedi, Stefanou, Subrin, Szymkiewicz, Tang, Thorel, Utter, Vibert, Volcke et Vouille.

ORGANISATEURS, PARTENAIRES ET SPONSORS



<http://www.enpc.fr/>

Laboratoire Navier - CERMES
<https://navier.enpc.fr/Geotechnique>



<http://www.ifsttar.fr/>

Laboratoires

- Séismes et Vibrations (SV)
<http://www.sv.ifsttar.fr/>
- Sols, Roches et Ouvrages géotechniques (SRO)
<http://www.sro.ifsttar.fr/>
- Navier - CERMES



Laboratoire Navier, UMR 8205

Sponsors



PROGRAMME GÉNÉRAL

MERCREDI 13 JUIN 2018

8h - 9h30 Hall ENPC - Carnot	Accueil		
9h30 - 10h15 Amphi Caquot ENPC Bâtiment Coriolis	Cérémonie d'ouverture		
10h15 - 11h Amphi Caquot ENPC Bâtiment Coriolis	Conférence Coulomb Des tranchées couvertes aux tunnels urbains : l'apport des retours d'expérience organisés R. Kastner, INSA Lyon Président F. Emeriault		
11h - 11h30 Hall ENPC - Carnot	Pause café et exposition technique		
11h30 - 13h	Session 1 Amphi Cauchy - ENPC	Session 2 Amphi Navier - ENPC	Session 3 Amphi Bienvenue - Ifsttar
13h - 13h50 Salle de restauration Bâtiment Bienvenue»	Déjeuner		
13h50 - 14h20 Hall ENPC	Café et exposition technique		
14h20 - 14h50 Amphi Cauchy ENPC	Prix Jean Goguel CFGI : 1. Les émanations naturelles d'hydrocarbures lourds depuis les sédiments vers l'hydro-atmosphère : Approche intégrée multiéchelle dans le bassin profond du Bas-Congo R. Jatiault, Université de Perpignan 2. Projet MIGA : une nouvelle galerie atypique pour détecter les ondes gravitationnelles : construction et évolution du modèle géologique intégré à la conception géotechnique de l'ouvrage et au management des risques F. Da Costa, Geos Ingénieurs Conseils Président G. Devèze		
15h - 16h30	Session 4 Amphi Cauchy - ENPC	Session 5 Amphi Navier - ENPC	Session 6 Amphi Bienvenue - Ifsttar
16h30 - 17h Hall ENPC	Pause café et exposition technique		
17h - 18h30	Session 7 Amphi Cauchy - ENPC	Session 8 Amphi Navier - ENPC	Session 9 Amphi Bienvenue - Ifsttar
18h30 - 20h30 Hall ENPC	Session poster et cocktail musical		

PROGRAMME GÉNÉRAL

PROGRAMME GÉNÉRAL

JEUDI 14 JUIN 2018

9h - 9h30 Amphi Cauchy ENPC	Prix Jean Kerisel CFMS : Apports de la modélisation physique en centrifugeuse dans l'étude des pieux sous chargement latéral M. Blanc, IFSTTAR Présidente V. Bernhardt		
9h30 - 9h40 Amphi Cauchy ENPC	Remise des prix du concours photo du CFMS V. Bernhardt		
9h45 - 11h	Session 10 Amphi Cauchy - ENPC	Session 11 Amphi Navier - ENPC	Session 12 Amphi Bienvenue - Ifsttar
11h - 11h30 Hall ENPC	Pause café et exposition technique		
11h30 - 13h	Session 13 Amphi Cauchy - ENPC	Session 14 Amphi Navier - ENPC	Session 15 Amphi Bienvenue - Ifsttar
13h - 13h50 Salle de restauration Bâtiment Bienvenue	Déjeuner		
13h50 - 14h20 Hall ENPC	Café et exposition technique		
14h20 - 15h05 Amphi Cauchy ENPC	Conférence invitée du CFGI : Glissement de terrain, cartographie, aléa, zonage, incertitudes, statistiques Y. Thiéry, BRGM Présidente A. Quénez		
15h15 - 16h30	Session 16 Amphi Cauchy - ENPC	Session 17 Amphi Navier - ENPC	Session 18 Amphi Bienvenue - Ifsttar
16h30 - 17h Hall ENPC	Pause café et exposition technique		
17h - 18h30	Session 19 Amphi Cauchy - ENPC	Session 20 Amphi Navier - ENPC	Session 21 Amphi Bienvenue - Ifsttar
20h - 22h30 Bateaux parisiens - Quai de Bercy	Dîner de gala		

VENDREDI 15 JUIN 2018

9h - 9h45 Amphi Cauchy ENPC	Conférence invitée du CFMR : Massif rocheux, modélisation numérique, fracturation, discontinuités, hydromécanique Daniel Billaux, ITASCA Président J. Sulem		
9h50 - 11h05	Session 22 Amphi Cauchy - ENPC	Session 23 Amphi Navier - ENPC	Session 24 Amphi Bienvenue - Ifsttar
11h05 - 11h25 Hall ENPC	Pause café		
11h25 - 11h55 Amphi Cauchy ENPC	Prix Pierre Londe CFMR : Analyse hydromécanique de la zone endommagée d'excavation autour de galeries souterraines par l'utilisation de bandes de cisaillement. B. Pardoën, Université de Louvain la Neuve Président J. Sulem		
12h - 12h45	Session 16 Amphi Cauchy - ENPC	Session 17 Amphi Navier - ENPC	Session 18 Amphi Bienvenue - Ifsttar
16h30 - 17h Hall ENPC	Pause café et exposition technique		
17h - 18h30	Session 25 Amphi Cauchy - ENPC	Session 26 Amphi Navier - ENPC	Session 27 Amphi Bienvenue - Ifsttar
12h45 - 13h15 Amphi Cauchy ENPC	Clôture des journées		
13h15 - 17h30	Déjeuner et visites techniques (sur inscription, dans la limite des places disponibles) Chantiers du Grand Paris		



PROGRAMME DÉTAILLÉ

MERCREDI 13 JUIN 2018

■ 8h00 - 9h30 - Hall ENPC

Accueil des participants

■ 9h30 - 10h15 - Amphi Caquot - ENPC bâtiment Coriolis

Cérémonie d'ouverture

■ 10h15 - 11h00 - Amphi Caquot - ENPC bâtiment Coriolis

Conférence Coulomb

Des tranchées couvertes aux tunnels urbains : l'apport des retours d'expérience organisés
Richard Kastner, INSA Lyon
Président : Fabrice Emeriault

■ 11h00 - 11h30 - Hall ENPC

Pause café et exposition technique

■ 11h30 - 13h00 - Amphi Cauchy - ENPC

Session 1 - Reconnaissance et auscultation des sites et des ouvrages

- > 11h30 - 11h45 • 1-1 - Evaluation des paramètres de déformation des sols et de leurs variations en fonction du domaine de déformation par une méthode associant les mesures in situ et les essais de laboratoire - Savatier Vincent, EGIS Géotechnique
- > 11h45 - 12h00 • 1-2 - Levés géologiques et hydrogéologiques de terrain pour les ouvrages souterrains - Johan KASPERSKI, Centre d'Etude des Tunnels
- > 12h00 - 12h15 • 1-3 - Les Argiles Plastiques de l'Yprésien et leur comportement capricieux - Anne Bergère, TERRASOL
- > 12h15 - 12h30 • 1-4 - Analyse de la dynamique d'un éboulement à partir de données sismologiques et photogrammétriques - Gaëlle Le Roy, GEOLITHE, Institut des Sciences de la Terre
- > 12h30 - 12h45 • 1-5 - Mise en place d'un protocole de mesure des petites déformations : Proposition d'un nouvelle sonde pressiométrique. - Philippe Reiffsteck, IFSTTAR
- > 12h45 - 13h00 • 1-6 - Mise au point d'une méthode automatique pour la détermination des propriétés géomécaniques de sols in-situ à l'aide du Pandoscope® - Sébastien Barbier, Sol-Solution

■ 11h30 - 13h00 - Amphi Navier - ENPC

Session 2 - Modèles numériques, physiques

- > 11h30 - 11h45 • 2-1 - Domaines d'application de la réduction de c et phi dans les études géotechniques - Grégory MEYER, Systra
- > 11h45 - 12h00 • 2-2 - Calcul des déformations d'un tunnel du métro toulousain lors de terrassement a proximite en utilisant un modèle HMS Small - Savatier vincent, EGIS GEO-TECHNIQUE- Toulouse

- > 12h00 - 12h15 • 2-3 - Estimation de la surface comprimée des fondations gravitaires annulaires en statique - Jean-François Bruchon, Terrasol
- > 12h15 - 12h30 • 2-4 - Estimation du rapport E/EM : application aux radiers de grandes dimensions - Minh Tuan HOANG, TERRASOL
- > 12h30 - 12h45 • 2-5 - Analyse du mécanisme d'interaction sol - armature inextensible VSol® lors d'un essai statique d'extraction en laboratoire - Michalis CHIKARAS, Consultant
- > 12h45 - 13h00 • 2-6 - Influence de la géométrie du front de taille d'un tunnel sur sa stabilité - Emmanuel BOURGEOIS, Université Paris-Est, IFSTTAR

■ 11:30 - 13:00 - Amphi Bienvenüe - Ifsttar

Session 3 - Conception, réalisation et durabilité des ouvrages géotechniques

- > 11h30 - 11h45 • 3-1 - Les Pieux forés - Règles de l'art - Version 2018 - Sabrina Perlo, Cerema
- > 11h45 - 12h00 • 3-2 - Maitrise de la consolidation d'un grand remblai routier : Une progression par étapes - Benoit Pezot, Sol Expert
- > 12h00 - 12h15 • 3-3 - Le drain électropneumatique sous vide, avancée innovante pour les infrastructures et le génie civil. - Jean-Claude GRESS, GRESS
- > 12h15 - 12h30 • 3-4 - Bloc Armé®, ouvrage passif de protection contre les mouvements de terrain - Julien Lorentz, Géolithe innov
- > 12h30 - 12h45 • 3-5 - Contribution à la définition de la qualité des structures souples à assises en matériaux latéritiques du Sénégal - Massamba NDIAYE, École Supérieure Polytechnique de Dakar
- > 12h45 - 13h00 • 3-6 - Nouvelle Route du Littoral : les fondations du Grand Viaduc en mer - REMY MATTRAS, EGIS Géotechnique

■ 13h00 - 13h50 - Salle de restauration - bâtiment Bienvenüe

Déjeuner

■ 13h50 - 14h20 - Hall ENPC

Café et exposition technique

■ 14h20 - 14h50 - Amphi Cauchy - ENPC

Prix Jean Goguel (CFG)

- > Les émanations naturelles d'hydrocarbures lourds depuis les sédiments vers l'hydro-atmosphère : Approche intégrée multiéchelle dans le bassin profond du Bas-Congo Roain Jatiault, Université de Perpignan
- > Projet MIGA, une nouvelle galerie atypique pour détecter les ondes gravitationnelles : construction et évolution du modèle géologique intégré a la conception géotechnique de l'ouvrage et au management des risques
Florent Da Costa, Geos Ingénieurs Conseils
Président : Guilhem Deveze

■ 15:00 - 16:30 - Amphi Cauchy - ENPC

Session 4 - Analyse et gestion des risques

- > 15h00 - 15h15 • 4-1 - Prise en compte de la dispersion spatiale des paramètres dans la justification des ouvrages géotechniques - Anne Bergère, TERRASOL
- > 15h15 - 15h30 • 4-2 - Analyse géomorphologique et structurale de MNT obtenus par LIDAR aérien sur des grands glissements pyrénéens - François Valdivielso, CEREMA
- > 15h30 - 15h45 • 4-3 - L'effet barrage : mythe ou réalité ? - Sébastien FLORIAT, EGIS Géotechnique
- > 15h45 - 16h00 • 4-4 - Gestion des risques résiduels, responsabilités et assurances - Jacques ROBERT, ARCADIS
- > 16h00 - 16h15 • 4-5 - Risques liés aux cavités à Orléans: Prédilections, gestion et intérêt du scan 3D portable «Zeb-Revo» - Mylène Froidevaux, UFR Sciences Exactes et Naturelles à Reims
- > 16h15 - 16h30 • 4-6 - Evaluation de l'aléa versant rocheux sous-cavé - Auxane Cherkaoui, INERIS

■ 15h00 - 16h30 - Amphi Navier - ENPC

Session 5 - Modèles numériques, physiques

- > 15h00 - 15h15 • 5-1 - Clouage des sols • passage court terme / long terme et proposition d'amélioration du dimensionnement traditionnel - Jean de Sauvage, IFSTTAR
- > 15h15 - 15h30 • 5-2 - Justification des coques en PRV par modélisation aux éléments finis - Matthieu Vrazinis, Antea Group
- > 15h30 - 15h45 • 5-3 - Influence d'un critère fermé sur le comportement du ballast ferroviaire • modélisation stationnaire - Thibault Badinier, CEREMA
- > 15h45 - 16h00 • 5-4 - Modélisation tridimensionnelle des rideaux de palplanches par la méthode des coefficients de réaction MISS-CR-PLQ - Abdelhamid Mokeddem, Université de Bordeaux, I2M - GCE
- > 16h00 - 16h15 • 5-5 - Etude du comportement en déplacement de micropieux en traction - Lama Toubassy, SOFREN GROUP
- > 16h15 - 16h30 • 5-6 - Analyse et comparaison des auscultations du tunnel routier du Fréjus et de sa galerie de sécurité - Manuel de la Fuente, Tractebel France, Ecole des Ponts Paris Tech

■ 15h00 - 16h30 - Amphi Bienvenüe - Ifsttar

Session 6 - Matériaux et géomatériaux : caractérisation et modélisation

- > 15h00 - 15h15 • 6-1 - Caractérisation des plans de discontinuités des schistes du Briovérien de la région de Rennes - Damien RANGEARD, INSA de Rennes, France
- > 15h15 - 15h30 • 6-2 - Comportement hydromécanique d'une craie marine altérée - Rawaz MUHAMMED, Laboratoire Navier-CERMES
- > 15h30 - 15h45 • 6-3 - Modélisation numérique thermo-hydro-mécanique de l'ouverture/fermeture d'une fissure de dessiccation - Richard Giot, Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers

- > 15h45 - 16h00 • 6-4 - Porosité active dans l'argilite du Callovo-Oxfordien - Pierre Delage, Ecole des Ponts ParisTech, Navier/CERMES
- > 16h00 - 16h15 • 6-5 - Paramètres poroélastiques isotropes transverses de l'argilite du Callovo-Oxfordien - Siavash Ghabezloo, Ecole des Ponts ParisTech, Navier/CERMES
- > 16h15 - 16h30 • 6-6 - Contribution à l'étude de l'endommagement des grains d'un sable sous haute pression - Seyf Eddine Messiou, Laboratoire de Génie Civil

■ 16h30 - 17h00 Hall ENPC

Pause café et exposition technique

■ 17h00 - 18h30 - Amphi Cauchy - ENPC

Session 7 - Reconnaissance et auscultation des sites et des ouvrages

- > 17h00 - 17h15 • 7-1 - Vers une meilleure prévision des tassements instantanés et différés - Dino Mahmutovic, EGIS GEOTECHNIQUE
- > 17h15 - 17h30 • 7-2 - Corrélations entre paramètres géotechniques sur des formations géologiques de la Région Parisienne - Catherine Jacquard, FONDASOL
- > 17h30 - 17h45 • 7-3 - Procédure pour la mesure du coefficient des terres au repos Ko par les essais en place - Philippe Reiffsteck, IFSTTAR
- > 17h45 - 18h00 • 7-4 - Retour d'expérience sur le scissomètre. - Claire Boutet, Hydro-geotechnique
- > 18h00 - 18h15 • 7-5 - Instrumentation et mesures de convergence au sein des démonstrateurs d'alvéoles de stockage du laboratoire souterrain de l'Andra - OLIVIER GAY, EGIS SE
- > 18h15 - 18h30 • 7-6 - Détermination du module d'élasticité dynamique à partir du Panda 3® - Quoc Anh TRAN, Sol Solution

■ 17h00 - 18h30 - Amphi Navier - ENPC

Session 8 - Sollicitations cycliques et dynamiques (dont fondations d'éoliennes)

- > 17h00 - 17h15 • 8-1 - Comportement des pieux sous chargement cyclique - cas des sables - Alain Le Kouby, IFSTTAR
- > 17h15 - 17h30 • 8-2 - Évaluation du potentiel de liquéfaction de la plaine alluviale de Bejaia, au nord-est de l'Algérie - Mohamed Khiatine, University of Sciences and Technology Houari Boumediene
- > 17h30 - 17h45 • 8-3 - Etude de liquéfaction induite par le séisme de 2011 dans la ville d'Urayasu - Ziad kteich, Institut de Recherche en Constructibilité
- > 17h45 - 18h00 • 8-4 - Quelques considérations pratiques autour de la pratique de la méthode NCEER pour l'étude du risque de liquéfaction - Manuel Hocdé, TERRASOL
- > 18h00 - 18h15 • 8-5 - Dispersion des ondes de surface dans les sols structurés artificiellement - Stéphane Brûlé, Ménard
- > 18h15 - 18h30 • 8-6 - Analyse du déplacement horizontal du sol sous sollicitations sismiques - Jefferson CUELLAR, Keller Fondations Spéciales

■ 17h00 - 18h30 - Amphi Bienvenüe - Ifsttar

Session 9 - Conception, réalisation et durabilité des ouvrages géotechniques

- > 17h00 - 17h15 • 9-1 - Planche de compactage expérimentale - Etude de l'impact du sens de compactage - Dino Mahmutovic, EGIS GEOTECHNIQUE
- > 17h15 - 17h30 • 9-2 - Constitution et exploitation d'une base d'essais de chargement en traction de micropieux et d'ancrages - Julien Habert, CEREMA
- > 17h30 - 17h45 • 9-3 - Proposition d'une nouvelle courbe P-y à partir des courbes pressiométriques - Rim BACCARA, IFSTTAR
- > 17h45 - 18h00 • 9-4 - Géosstructure Énergétique Innovante : Le Micropieu énergétique débouchant - Stéphane Rendu, Rendu
- > 18h00 - 18h15 • 9-5 - Une nouvelle méthode d'injection de micropieu : l'Injection de Serrage Unitaire - Nicolas UTTER, Solétanche Bachy

■ 18h30 - 20h30 Hall ENPC

Session Poster et cocktail musical

■ JEUDI 14 JUIN 2018

■ 9h00 - 9h30 - Amphi Cauchy - ENPC

Prix Jean Kerisel (CFMS)

Apports de la modélisation physique en centrifugeuse dans l'étude des pieux sous chargement latéral
Matthieu Blanc, IFSTTAR
Présidente : Valérie Bernhardt

■ 9h30 - 9h40 - Amphi Cauchy - ENPC

Remise des prix du concours photo - V. Bernhardt

■ 9h45 - 11h00 - Amphi Cauchy - ENPC

Session 10 - Amélioration et renforcement des sols et des roches

- > 9h45 - 10h00 • 10-1 - Dimensionnement de 8 réservoirs GNL fondés sur inclusions rigides selon les recommandations ASIRI - Charles Bernuy, Terrasol
- > 10h00 - 10h15 • 10-2 - Valorisation d'un sol grossier par traitement à la chaux : Application aux problèmes d'érosion interne. - Radja Elandaloussi, Ecole des Ponts ParisTech, Navier/CERMES.
- > 10h15 - 10h30 • 10-3 - Etude du renforcement géosynthétique de plateforme granulaire sur sol médiocre. - Nicole Khoueiry, Géomas - Insa Lyon
- > 10h30 - 10h45 • 10-4 - Sécurisation d'un secteur d'une ancienne carrière souterraine par un géosynthétique de très haute résistance (1800 kN/m) - Abdelkader Abdelouhab, Texinov
- > 10h45 - 11h00 • 10-5 - ONERA : soufflerie de Modane - Avrieux - Renforcement de sol en milieu gypseux - Bruno Mazaré, Egis Géotechnique

■ 9h45 - 11h00 - Amphi Navier - ENPC

Session 11 - Modèles numériques, physiques

- > 9h45 - 10h00 • 11-1 - Estimation des échanges thermiques à long terme d'une géostructure thermique - YVON DELERABLEE, Antea Group
- > 10h00 - 10h15 • 11-2 - Modélisation du pénétromètre statique (CPT) en condition saturée: un modèle numérique discret avec couplage fluide-solide. - HAMID HOSSEINI SADRABADI, L3S-R, Grenoble
- > 10h15 - 10h30 • 11-3 - Importance des phénomènes hydrauliques dans la conception et la réalisation des fouilles profondes - Roxanne HAMBLIN, Antea Group
- > 10h30 - 10h45 • 11-4 - Modélisation d'une ancienne mine de lignite sous AutoCad Map 3D • Exemple de Gardanne (Sud de la France) - Gilbert ROGER, BRGM
- > 10h45 - 11h00 • 11-5 - Exploitation du signal au pénétromètre dynamique pour l'aide à l'obtention d'un modèle de terrain - Carlos Sastre Jurado, Institut Pascal UMR CNRS 6602, Université Clermont Auvergne

■ 9h45 - 11h00 - Amphi Bienvenüe - Ifsttar

Session 12 - Matériaux et géomatériaux : caractérisation et modélisation

- > 9h45 - 10h00 • 12-1 - Etude paramétrique et multi échelle de la sensibilité des sols à la suffusion - Didier MAROT, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique
- > 10h00 - 10h15 • 12-2 - Quels essais de laboratoire pour évaluer la durabilité des matériaux de digues ? - Yasmina Boussafir, IFSTTAR
- > 10h15 - 10h30 • 12-3 - Durabilité d'un sol traité à la chaux en environnement maritime: méthodologie de l'étude - Margot De Baecque, IFSTTAR
- > 10h30 - 10h45 • 12-4 - Impact du type de sol, du dosage en ciment, de la teneur en eau sur les propriétés hydrauliques et mécaniques des matériaux traités au ciment. - Alain Le Kouby, IFSTTAR
- > 10h45 - 11h00 • 12-5 - Comportement mécanique des sols granulaires hétérogènes à matrice - N'guessan KOUAKOU, Laboratoire d'Énergétique et de Mécanique Théorique Appliquée

■ 11h00 - 11h30 Hall ENPC

Pause café et exposition technique

■ 11h30 - 13h00 - Amphi Cauchy - ENPC

Session 13 - Reconnaissance et auscultation des sites et des ouvrages

- > 11h30 - 11h45 • 13-1 - Puits et galerie d'essais Calmette - Ligne 11 aux Lilas (France) : auscultations et essais géotechniques de qualification de l'efficacité du jet grouting et du boulonnage de front dans les Argiles Vertes - Benedikt STUTZL, GEOS Ingénieurs Conseils
- > 11h45 - 12h00 • 13-2 - Retour d'expérience sur la détermination de la profondeur d'ancrage de pieux bois par méthode géophysique - Matthias FERREIRA, Hydrogéotechnique
- > 12h00 - 12h15 • 13-3 - La polarisation provoquée pour le suivi des écrans étanches : une première approche - Carole Kaouane, CEREMA Rouen
- > 12h15 - 12h30 • 13-4 - Utilisation des paramètres de forage pour un positionnement judicieux de la sonde pressiométrique dans le terrain et une interprétation éclairée des résultats - Alexandre LOPES, Fugro GeoConsulting
- > 12h30 - 12h45 • 13-5 - Mesure de modules de cisaillement à faibles déformations à partir d'une sonde pressiométrique monocellulaire - Alexandre LOPES, Fugro GeoConsulting

■ 11h30 - 13h00 - Amphi Navier - ENPC

Session 14 - Grand Paris - Infrastructures linéaires - Travaux maritimes et fluviaux, géotechnique offshore

- > 11h30 - 11h45 • 14-1 - Mise en place d'une instrumentation avancée de la paroi moulée sur la gare Fort d'Issy Vanves Clamart du Grand Paris - Khadija NEJJAR, Terrasol, Laboratoire 3S-R
- > 11h45 - 12h00 • 14-2 - Révision de quelques idées reçues sur le Lutétien parisien (Calcaire grossier et Marnes et Caillasses) - Emmanuel Egal, Egis

- > 12h00 - 12h15 • 14-3 - Influence des granulats basaltiques 0/5 sur les propriétés géotechniques des sols fins latéritiques de Bafang (Ouest-Cameroun) en vue de leur valorisation en technique routière - Norotiana RAZAFIMAHATRATRA, Razel-Bec, Fayat
- > 12h15 - 12h30 • 14-4 - Travaux d'extension de Port Est - Phase 2 - SOPHIE DESPREZ, ARTELIA Eau & Environnement

■ 11h30 - 13h00 - Amphi Bienvenüe - Ifsttar

Session 15 - Conception, réalisation et durabilité des ouvrages géotechniques

- > 11h30 - 11h45 • 15-1 - Expérimentations grandeur réelle d'impacts sur parement de merlon - Agathe FURET, L3S-R, Grenoble
- > 11h45 - 12h00 • 15-2 - Fondations mixtes radier - pieux sur sols compressibles : prise en compte du fluage dans leur justifications par la méthode des éléments finis - Niculai DRONIUC, FUGRO GEOCONSULTING
- > 12h00 - 12h15 • 15-3 - Essais de chargement statique sur des pieux tarière type 3 à événements rotatifs 3TER - Serge Lambert, Keller
- > 12h15 - 12h30 • 15-4 - Modéliser une cuvette de tassement au tunnelier réaliste à l'aide d'une loi de comportement adaptée - Emmanuel Bourgeois, IFSTTAR
- > 12h30 - 12h45 • 15-5 - Caractérisation géotechnique des graveleux latéritiques du Sénégal - Massamba NDIAYE, École Supérieure Polytechnique de Dakar

■ 13h00 - 13h50 Salle de restauration - bâtiment Bienvenüe

Déjeuner

■ 13h50 - 14h20 Hall ENPC

Café et exposition technique

■ 14h20 - 15h05 - Amphi Cauchy - ENPC

Conférence invitée du CFGI

- Glissement de terrain, cartographie, aléa, zonage, incertitudes, statistiques
Yannick Thiéry, BRGM
Présidente : Aline Quénez

■ 15h15 - 16h30 - Amphi Cauchy - ENPC

Session 16 - Massifs rocheux, géothermie, ressources, déchets

- > 15h15 - 15h30 • 16-1 - Calcul des boulons : détermination empirique et/ou statistique des coefficients de sécurités partiels pour les états limites - Philippe Laheurte, CEREMA
- > 15h30 - 15h45 • 16-2 - Dimensionnement du boulonnage à la limite élastique : confrontation des formules analytiques avec les essais à l'échelle un - Siegfried Maiolino, CEREMA
- > 15h45 - 16h00 • 16-3 - Etude paramétrique de la résistance à l'arrachement d'un ancrage passif scellé au rocher - Marion Bost, IFSTTAR

PROGRAMME DÉTAILLÉ

> 16h00 - 16h15 • 16-4 - Influence de la température à l'interface sol/béton dans les pieux géothermiques : essais de faisabilité in situ et en laboratoire - Andree-Roxana Vasilescu, PINTO, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique

■ 15h15 - 16h30 - Amphi Navier - ENPC

Session 17 - Modèles numériques, physiques

- > 15h15 - 15h30 • 17-1 - Quelques applications d'une méthode de calcul pour les pieux soumis à des chargements cycliques axiaux - Hiba El Arja, IFSTTAR
- > 15h30 - 15h45 • 17-2 - Interaction sol-structure et dimensionnement des fondations profondes sous sollicitations sismiques - Jesús Pérez Herreros, TERRASOL
- > 15h45 - 16h00 • 17-3 - Capacité axiale de pieux foncés dans du sable - essais en centrifugeuse - Ismat EL HAFFAR, IFSTTAR
- > 16h00 - 16h15 • 17-4 - Effet de la méthode d'installation sur la chargement latéral d'un pieu - essais en centrifugeuse - Ismat EL HAFFAR, IFSTTAR
- > 16h15 - 16h30 • 17-5 - Instrumentation d'une paroi clouée en centrifugeuse - Jean de Sauvage, IFSTTAR

■ 15h15 - 16h30 - Amphi Bienvenüe - Ifsttar

Session 18 - Matériaux et géomatériaux : caractérisation et modélisation

- > 15h15 - 15h30 • 18-1 - Essai de simulation de roulis en Centrifugeuse pour étudier la liquéfaction de minerai lors du transport maritime - Luc Thorel, IFSTTAR
- > 15h30 - 15h45 • 18-2 - Impact de la température sur le fluage d'une argile compactée saturée - ZAYAD KADDOURI, LEMTA, Nancy
- > 15h45 - 16h00 • 18-3 - Etude du comportement mécanique d'un sédiment de barrage en technique routière - Boumediene SERBAH, Laboratoire Ondes et milieux complexes, Université Le Havre Normandie
- > 16h00 - 16h15 • 18-4 - Caractérisation de l'argilite du Callovo-Oxfordien sous des sollicitations thermiques - Philipp Braun, Ecole des Ponts ParisTech, ANDRA
- > 16h15 - 16h30 • 18-5 - Détermination des propriétés THM des roches poreuses avec un essai de chargement transitoire - Philipp Braun, Ecole des Ponts ParisTech, ANDRA

■ 16h30 - 17h00 Hall ENPC

Pause café et exposition technique

■ 17h00 - 18h30 - Amphi Cauchy - ENPC

Session 19 - Reconnaissance et auscultation des sites et des ouvrages

- > 17h00 - 17h15 • 19-1 - Une sonde monocellulaire innovante pour la réalisation des essais d'expansion de cavité cylindrique - Alexandre LOPES, Fugro GeoConsulting
- > 17h15 - 17h30 • 19-2 - Vers une meilleure compréhension des interactions sol-atmosphère d'un remblai en sol traité grâce à un suivi des états hydriques à long-terme - Yasmina Boussafir, IFSTTAR
- > 17h30 - 17h45 • 19-3 - Corrélation entre paramètres de forage et profils pressiométriques par autoforage du tubage Rotostaf - Jean-Pierre Baud, Eurogeo

PROGRAMME DÉTAILLÉ

> 17h45 - 18h00 • 19-4 - Des anomalies géotechniques à l'origine de propositions d'indicateurs de durabilité pour les digues fluviales - Yasmina Boussafir, IFSTTAR

> 18h00 - 18h15 • 19-5 - Comparaison de dimensionnements d'ouvrages à partir du pressiomètre et du pénétromètre statique - Eric VERMOOTE, GEOS INGENIEURS CONSEILS

> 18h15 - 18h30 • 19-6 - Localisation RFID appliquée à la surveillance de versants instables - Mathieu Le Breton, Institut des Sciences de la Terre, Géolithe

■ 17h00 - 18h30 - Amphi Navier - ENPC

Session 20 - Analyse et gestion des risques - Massifs rocheux, géothermie, ressources, déchets

- > 17h00 - 17h15 • 20-1 - Mouvements de terrain liés à la dissolution du gypse • Approche méthodologique d'évaluation et de gestion du risque - Amélie LECOMTE, INERIS
- > 17h15 - 17h30 • 20-2 - Analyse des risques à Conflans Sainte Honorine - une ville dynamique sur un sous-sol surexploité - Michaël Reboul, TECHNOSOL
- > 17h30 - 17h45 • 20-3 - Etat des lieux des risques, impacts et nuisances liés à la géothermie profonde - GOMBERT Philippe, INERIS
- > 17h45 - 18h00 • 20-4 - Interprétation de tests de réponse thermique et dimensionnement de pieux géothermiques - Charles MARAGNA, BRGM
- > 18h00 - 18h15 • 20-5 - Valorisation des sables usés de la fonderie dans le domaine de BTP - Hadj BEKKI, Université Ibn Khaldoun de Tiaret

■ 17h00 - 18h30 - Amphi Bienvenüe - Ifsttar

Session 21 - Environnement, risques naturels ou anthropiques, enjeux sociétaux

- > 17h00 - 17h15 • 21-1 - Rôle des intempéries dans les mouvements de terrain liés aux cavités • Retour sur la crise «Loiret» juin 2016 - Gildas Noury, BRGM
- > 17h15 - 17h30 • 21-2 - Causes et conséquences de l'effondrement du front de coteau sous-miné de la rue des Marche à VILLAINES LES ROCHERS – Alexandre Philippe, Syndicat Intercommunal Cavités 37
- > 17h30 - 17h45 • 21-3 - Rôle des aménagements sur l'apparition d'effondrements en contexte karstique - Gildas Noury, BRGM
- > 17h45 - 18h00 • 21-4 - L'ancienne mine des Camoins à Marseille : surveillance et mise en sécurité dans un environnement sensible - Boris DELMAS, Département Prévention et Sécurité Minière
- > 18h00 - 18h15 • 21-5 - Étude numérique et expérimentale des mécanismes de transfert de charge dans une plateforme granulaire renforcée par géosynthétique et sujette à un effondrement localisé. - Caroline Chalak, INSA-Lyon
- > 18h15 - 18h30 • 21-6 - Impact du changement climatique sur la sinistralité due au retrait-gonflement des argiles - Sébastien Gourdière, BRGM

■ 20h00 - 22h30 Bateaux Parisiens - Quai de Bercy

Dîner de gala

VENDREDI 15 JUIN 2018

■ 9h00 - 9h45 - Amphi Cauchy - ENPC

Conférence invitée du CFMR

Massif rocheux, modélisation numérique, fracturation, discontinuités, hydromécanique
Daniel Billaux, ITASCA
Président : Jean Sulem

■ 9h50 - 11h05 - Amphi Cauchy - ENPC

Session 22 - Amélioration et renforcement des sols et des roches

- > 9h50 - 10h05 • 22-1 - Durabilité chimique du sable bio-cimenté • étude mécanique et microstructurale - Abdelali Dadda, L3S-R, Grenoble
- > 10h05 - 10h20 • 22-2 - Renforcement des digues par la technique du deep soil mixing - Retour d'expérience - Lucile Saussaye, CEREMA
- > 10h20 - 10h35 • 22-3 - Lutte contre les instabilités superficielles de talus: le parement ELITE - Philippe Robit, NGE Fondations
- > 10h35 - 10h50 • 22-4 - Effet de fibre de verre sur la réponse statique non drainée de sable de Chlef (Algérie du nord) - Laurent LANCELOT, Laboratoire de Génie Civil et Géo-Environnement, Polytech Lille, France

■ 9h50 - 11h05 - Amphi Navier - ENPC

Session 23 - Modèles numériques, physiques

- > 9h50 - 10h05 • 23-1 - Modélisation des instabilités hydromécaniques d'un sol cohésif liées à la présence de karst - Li-Hua LUU, G2DR, IRSTEA
- > 10h05 - 10h20 • 23-2 - Caractérisation du comportement des discontinuités rocheuses par fabrication additive - Jana Jaber, Université de Lorraine, Laboratoire GeoRessources
- > 10h20 - 10h35 • 23-3 - Modélisation en endommagement radoucissant de la zone de rupture autour des ouvrages profonds dans des roches anisotropes quasi-fragiles - Edoardo Trivellato, Andra, Laboratoire Navier
- > 10h35 - 10h50 • 23-4 - Géostructures thermiques : tous les éléments de structures sont-ils bons à équiper ? - Lionel DEMONGODIN, EGIS Géotechnique

■ 9h50 - 11h05 - Amphi Bienvenüe - Ifsttar

Session 24 - Environnement, risques naturels ou anthropiques, enjeux sociétaux

- > 9h50 - 10h05 • 24-1 - Influence des fines plastiques sur la liquéfaction statique de mélanges sable-argile. - Philippe Reiffsteck, IFSTTAR
- > 10h05 - 10h20 • 24-2 - Sismicité Anthropique : synthèse sur l'aléa et les risques associés - Isabelle Contrucci, INERIS

> 10h20 - 10h35 • 24-3 - Projet ANR SSHEAR sur les affouillements : développements et retombées pratiques - Christophe Chevalier, IFSTTAR

> 10h35 - 10h50 • 24-4 - Réutilisation des sols urbains: caractérisation géotechnique et environnementale - Myriam Duc, IFSTTAR

> 10h50 - 11h05 • 24-5 - Le projet MACH (MAison Confortée par Humidification) - MATHON David, CEREMA

■ 11h05 - 11h25 Hall ENPC

Pause café

■ 11h25 - 11h55 - Amphi Cauchy - ENPC

Prix Pierre Londe (CFMR)

Analyse hydromécanique de la zone endommagée d'excavation autour de galeries souterraines par l'utilisation de bandes de cisaillement
Benoît Pardoën, Université de Louvain la Neuve
Président : Jean Sulem

■ 12h00 - 12h45 - Amphi Cauchy - ENPC

Session 25 - Reconnaissance et auscultation des sites et des ouvrages

- > 12h00 - 12h15 • 25-1 - Comparaison de méthodes électriques sur un pilier de carrière souterraine - Ludovic DORE, CEREMA
- > 12h15 - 12h30 • 25-2 - Proposition d'une nouvelle méthode d'interprétation des essais au vérin plat pour suivre l'évolution de contrainte dans des revêtements des galeries du Laboratoire Souterrain en Meuse/Haute-Marne - Minh-Ngoc Vu, Andra
- > 12h30 - 12h45 • 25-3 - Diagnostic d'ouvrages hydrauliques en terre en milieu maritime par Contrôle Non Destructif et fusion des données - Scarlett Gendrey, Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, Marseille

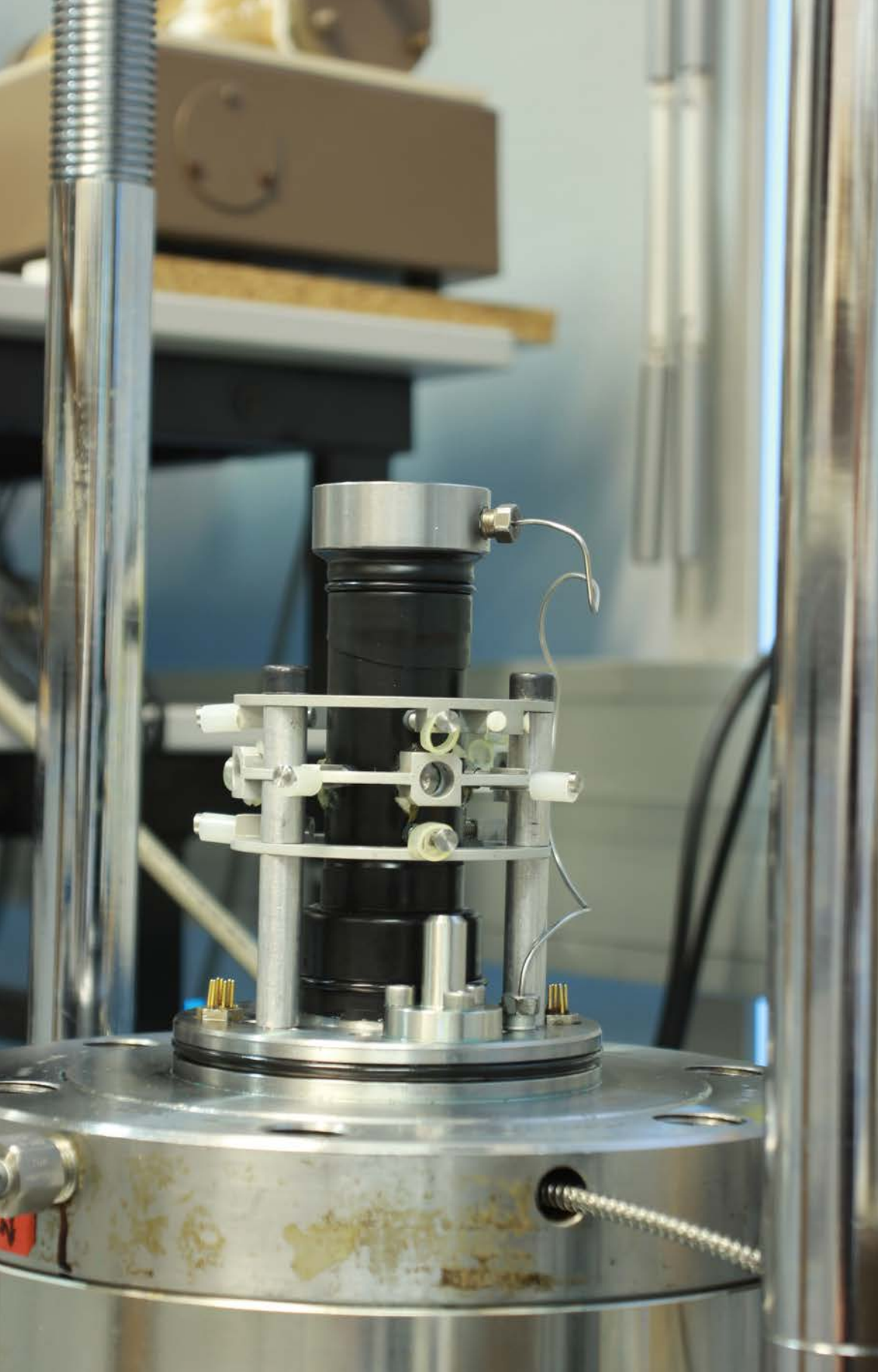
■ 12h00 - 12h45 - Amphi Navier - ENPC

Session 26 - Sollicitations cycliques et dynamiques (dont fondations d'éoliennes)

- > 12h00 - 12h15 • 26-1 - Prise en compte des effets de l'interaction sol structure dans la justification de la portance sismique d'un radier général - Youssef Abboud, IFSTTAR
- > 12h15 - 12h30 • 26-2 - Evolution du comportement dynamique d'un modèle réduit d'éolienne offshore fondé sur monopieu sous sollicitation cyclique - Laura Kerner, Laboratoire Navier
- > 12h30 - 12h45 • 26-3 - Influence de la fréquence de chargement sur l'évolution du frottement sol-pieu sous chargement cyclique dans une argile saturée - Rawaz MUHAMMED, Laboratoire Navier



CONFÉRENCES PLÉNIÈRES



■ 1. Des tranchées couvertes aux tunnels urbains : l'apport des retours d'expérience organisés

Kastner Richard¹

1 - INSA Lyon (France)

Les grands ouvrages géotechniques font souvent l'objet d'instrumentations dont l'objectif principal est de vérifier que les sollicitations de l'ouvrage et de son environnement ne dépassent pas des critères contractuels. Cependant, un retour véritablement critique sur le fonctionnement des ouvrages géotechniques dans leur contexte réel, ainsi que sur leur dimensionnement, nécessite une démarche d'observation et d'auscultation spécifiques. Cette conférence présente les résultats d'une telle démarche appliquée à divers chantiers de rideaux de soutènement et de tunnels urbains creusés de manière conventionnelle ou par tunnelier. Elle a comme objectif d'observer et comprendre le fonctionnement des ouvrages, leur interaction avec le terrain, et d'obtenir des données permettant d'évaluer de manière critique les différentes approches de dimensionnement. Elle permet enfin d'évaluer les valeurs des paramètres du terrain à l'échelle des ouvrages. Le suivi expérimental de tranchées couvertes et de stations des métros de Lyon et Toulouse, complétés par une campagne sur modèle réduit, a permis de mettre en évidence les interactions entre le terrain et ces ouvrages, et montre l'importance des effets « voûte » dans la sollicitation des parois de soutènement, notamment lorsque les appuis sont passifs. Ces observations ont permis de cerner le domaine d'utilisation des approches de dimensionnement reposant sur l'hypothèse du coefficient de réaction, très largement utilisées, et confirment l'intérêt, dans certaines configurations, des approches de type éléments finis. Concernant la mise hors d'eau de ces fouilles, on montre la difficulté d'estimer a priori la perméabilité et l'anisotropie des terrains à l'échelle des ouvrages, paramètres qui conditionnent les débits d'exhaure et la stabilité du fond de fouille. L'instrumentation de sections de tunnels creusés par tunnelier a permis de préciser les diverses sources de tassement en relation avec les paramètres de pilotage, et les analyses en retour 2D comme 3D montrent que certains paramètres de l'action du tunnelier ne peuvent être déterminés que de manière semi-empirique. En revanche, on a montré que dans le cas d'un tunnel creusé de manière conventionnelle comportant de nombreux éléments de confortement, le comportement de l'ouvrage pouvait être correctement modélisé par une approche 3D dès lors que les propriétés des terrains étaient correctement estimées.

> **Mots clefs** : tunnels urbains, tranchées couverte, Travaux souterrains, instrumentation, retour d'expérience

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 2. Cartographie de l'aléa glissement de terrain : état de l'art et perspectives

Thiery Yannick¹

1 - Bureau de Recherches Géologiques et Minières (France)

En France, la cartographie de l'aléa et du risque glissement de terrain entre dans un cadre légal mis en oeuvre depuis 1995 (procédure PPR). L'analyse et le zonage s'effectuent selon une démarche « experte » qualifiée de subjective et fondée sur l'observation des phénomènes sur leur localisation et leur déclenchement ainsi que les rôles respectifs des facteurs de prédisposition et des facteurs déclenchants. Ce raisonnement conduit à placer une limite estimée être la plus pertinente pour les 100 prochaines années au regard des connaissances du moment. Si la démarche offre de nombreux avantages (souplesse, rapidité de mise en oeuvre, capacité de couvrir de large secteurs, ...), il reste des incertitudes liées (i) à la nature discontinue dans l'espace et le temps des phénomènes ; (ii) au manque de données historiques fiables et complètes ; (iii) aux difficultés d'identifier les causes des phénomènes ; (iv) aux erreurs d'appréciation de l'expert. Depuis quelques années, des alternatives sont apparues. Fondées sur des techniques de calcul plus ou moins complexes (heuristique, statistique, déterministe) et implémentées parfois dans les SIG, elles offrent des possibilités pour réduire les incertitudes liées aux points énumérés précédemment. Après avoir établi un état de l'art de la cartographie de l'aléa glissement de terrain, cette présentation se focalisera, à travers des exemples, sur les perspectives ouvertes par de nouvelles approches et les stratégies mises en oeuvre récemment pour réduire les incertitudes et améliorer les résultats.

> **Mots clefs** : Glissement de terrain, cartographie, aléa, zonage, incertitudes, statistiques

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 3. Modélisation numérique des roches et fracturation : du continu au discontinu

Billiaux Daniel¹

1 - ITASCA (France)

Les massifs rocheux sont des milieux généralement discontinus et hétérogènes et souvent anisotropes. Leur comportement dépend aussi bien de la matrice rocheuse que des discontinuités initialement présentes dans le massif ou se formant au cours de leur histoire. Différentes approches numériques (continues, fracturées et discrètes) permettent de traiter les problèmes à différentes échelles. L'analyse en termes de milieu continu équivalent est souvent suffisante, à condition de se doter de lois de comportement adaptées. Lorsque le processus à simuler implique une transformation du matériau (endommagement, apparition de fractures), la modélisation doit détecter la localisation des déformations et les débuts de la dislocation de la roche. Les méthodes numériques enrichies et les méthodes discrètes sont les deux pistes principales pour résoudre ces cas ardues. Le réseau de fractures naturelles (DFN, pour « Discrete Fracture Network ») est en général une donnée essentielle du comportement du massif rocheux. Il est souvent représenté par un « indice de qualité » (RQD, GSI par exemple) utile en phase préliminaire, mais qui reste grossier par rapport aux variations possibles de comportement. La caractérisation du DFN reste un sujet de recherche, et se heurte à la difficulté d'intégrer des études de terrain (qui peuvent être très détaillées mais restent locales) pour exprimer des propriétés géométriques et physiques à forte variabilité et qui sont fonction de l'échelle considérée. Les domaines dans lesquels l'influence du DFN sur les propriétés est prépondérante vont de la fragmentation (lors du foudroyage), à la résistance mécanique, mais aussi à la perméabilité et en particulier à la réponse hydromécanique couplée lors d'opérations de fracturation hydraulique. Les méthodes numériques permettent maintenant de simuler l'essentiel des phénomènes physiques survenant lors de l'exploitation des massifs rocheux. Mais notre capacité de prédiction reste souvent limitée par la faible quantité de données disponibles, en regard de la complexité de ces phénomènes. La modélisation des roches reste un art basé sur le triptyque classique : faire le choix de la méthode la plus pertinente, la mettre en oeuvre avec rigueur, et en interpréter les résultats de manière critique en fonction de ses limites.

> **Mots clefs** : discontinuités, fracturation, modélisation numérique, Massif rocheux, hydro-mécanique

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 4a. Les émanations naturelles d'hydrocarbures lourds depuis les sédiments vers l'hydro-atmosphère : Approche intégrée multiéchelle dans le bassin profond du Bas-Congo

Jatiaux Romain¹

1 - Université de Perpignan (France)

La compréhension des phénomènes d'expulsion naturelles d'hydrocarbures dans l'environnement revêt des enjeux majeurs à considérer : (i) sociétaux, en apportant de puissants composés à effet de serre vers l'hydro-atmosphère, (ii) écologiques, en constituant des analogues pour la compréhension des marées noires, (iii) biologiques, car ils constituent des oasis de vie pour les espèces benthiques, (iv) économiques, car ils témoignent de zones d'intérêt pétrolier. L'objectif est de comprendre les modes de fonctionnement de ces systèmes, depuis la mobilisation des hydrocarbures dans les sédiments, jusqu'à l'exutoire en fond de mer, puis en surface mer. Le bassin profond du Bas-Congo a été intensément exploré pour son potentiel pétrolier, le volume de données disponibles en fait une zone d'étude de premier choix pour l'étude de ces émanations. Pour la première fois, l'analyse d'un ensemble des données de très haute résolution nous a permis d'étudier ces phénomènes depuis la surface de la mer grâce à l'imagerie spatiale, jusqu'aux marqueurs géophysiques associés à leur migration à travers les sédiments en passant l'étude des chemins de migrations des hydrocarbures à travers la colonne d'eau par l'analyse de données de courantométrie. Nous estimons qu'un volume de 4400 m³ d'hydrocarbures est naturellement émis par an, suivant un mécanisme intermittent avec des fréquences propres d'un site à l'autre. Les structures actives en fond de mer correspondent à des chapelets de dépressions de fortes amplitudes identifiées à partir des données de sismique 3D, localisés sur le pourtour des diapirs de sel et à des regroupements de monticules composés d'asphaltes en périphérie. Dans les sédiments, les anomalies géophysiques se retrouvent sous la forme de cheminées verticales, délimitées par le bas par le réflecteur sismique associé à la base de stabilité des hydrates de gaz. La correspondance spatiale de ces différents critères a permis d'inventorier les sites potentiellement actifs sur les données géophysiques. Seulement 40% des sites regroupant l'ensemble des critères géophysiques spécifiques aux émanations d'hydrocarbures lourds sont associés à des nappes récurrentes à la surface de la mer. Ces résultats multidisciplinaires éclairent d'un jour neuf les structures associées aux émanations d'hydrocarbures lourds et ouvrent de nombreuses perspectives de recherche.

> **Mots clefs** : Bassin du Bas, Hydrate de gaz, Pockmark, Fuites naturelles, Nappes d'hydrocarbures, Congo, Modélisation hydrodynamique.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 4b. Projet MIGA : une nouvelle galerie atypique pour détecter les ondes gravitationnelles : construction et évolution du modèle géologique intégré à la conception géotechnique de l'ouvrage et au management des risques

Da Costa Florent¹

1 - Geos Ingénieurs Conseils (France)

La conception de la nouvelle galerie expérimentale du LSBB (ou galerie MIGA) a nécessité l'élaboration d'un modèle géologique approfondi du site. L'article détaille la démarche adoptée pour construire ce modèle : d'abord à partir d'une analyse tenant compte de la géologie régionale et du retour d'expérience du creusement du laboratoire, puis en intégrant les résultats de deux sondages carottés complémentaires de grande longueur. Les apports du modèle dans la connaissance du contexte structural du LSBB sont également commentés en le confrontant à plusieurs modèles existants fournis comme données d'entrée pour l'étude. Enfin, les principes d'utilisation du modèle géologique pour la conception géotechnique de l'ouvrage sont présentés. Ce volet englobe la description de la méthodologie mise en place pour l'analyse des risques géologiques, hydrogéologiques et géotechniques du projet.

> **Mots clefs** : Travaux souterrains, modèle géologique, sondage carotté, géotechnique, hydrogéologie

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. Apports de la modélisation physique en centrifugeuse dans l'étude des pieux sous chargement latéral

Blanc Matthieu¹

1 - IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (France)

Le chargement latéral cyclique des pieux est généralement le résultat des sollicitations mécaniques engendrées par les vagues, le vent sur des structures offshore, l'amarrage de bateaux sur des quais, des surcharges variables ou des dilatations thermiques. Le comportement de pieux soumis à un chargement latéral dans un sable de Fontainebleau a été étudié avec des modèles réduits centrifugés. Ceci permet de solliciter ces modèles réduits de pieux sous des niveaux de contraintes identiques à ceux éprouvés par le prototype. Les différentes méthodes réglementaires de dimensionnement d'un pieu sous charge latérale nécessitent les courbes de réaction du sol en fonction de son déplacement horizontal, appelées courbes P-y. Ces courbes peuvent être déterminées expérimentalement en instrumentant les pieux modèles de façon à obtenir l'évolution du profil des moments en fonction de la profondeur. Un processus de double dérivation et double intégration permet d'obtenir d'une part la réaction du sol et d'autre part le déplacement latéral du pieu et donc celui du sol. Le comportement du pieu sous chargement latéral dépend en premier lieu de son élancement. Différents catégories d'élancement ont été étudiés en centrifugeuse allant de pieux fins élancés flexibles à des monopieux rigides utilisés pour les éoliennes offshore. Les essais en centrifugeuse soulignent les différences de comportements entre ces types pieux et les comparent avec le cadre réglementaire.

> **Mots clefs** : élancement, chargement latéral, pieu, Centrifugeuse, flexibilité

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. Analyse hydromécanique de la zone endommagée d'excavation autour de galeries souterraines par l'utilisation de bandes de cisaillement

Pardoën Benoît¹

1 - Université Catholique de Louvain (Belgique)

La gestion à long terme des déchets nucléaires à haute activité est envisagée par un dépôt géologique profond, dans des formations hôtes à faible perméabilité. Le comportement de la zone endommagée d'excavation (EDZ), qui se développe autour des galeries, est important pour assurer la durabilité des ouvrages souterrains. L'EDZ est dominée par un processus de fracturation engendrant des modifications de propriétés, tel qu'une augmentation significative de la perméabilité hydraulique. En conséquence, la prédiction du comportement hydromécanique de l'EDZ est cruciale pour la gestion des déchets nucléaires. Parmi les différentes formations géologiques envisagées, l'argilite du Callovo-Oxfordien est étudiée. La fracturation et les processus couplés autour des galeries sont abordés. Les fractures sont reproduites par des localisations de déformation en bandes de cisaillement. Cette approche nécessite de développer et d'utiliser un modèle numérique (éléments finis) approprié. Il s'agit d'un modèle régularisé, appelé modèle second gradient couplé, dont l'application est étendue à des roches anisotropes partiellement saturées. La modélisation de l'EDZ par bandes de cisaillement fournit des informations sur sa forme, sa taille, sa structure de fracturation et son comportement qui sont en accord avec les mesures expérimentales. Les échanges d'eau et les processus couplés sont également investigués. L'impact de la fracturation sur les caractéristiques hydrauliques est envisagé par des effets de localisation de déformation. Ceci engendre une augmentation importante de la perméabilité dans l'EDZ, en accord avec les mesures in situ. Après l'excavation des galeries, les transferts hydrauliques dans la roche avoisinante sont investigués en considérant l'interaction roche-air. Ces transferts sont étudiés pendant la phase de ventilation des galeries et impliquent un drainage progressif ainsi qu'une désaturation de la roche avoisinante. Ces phénomènes modifient le développement des bandes de cisaillement. L'approche proposée met en évidence les aspects hydromécaniques importants à prendre en compte pour la reproduction du comportement de l'EDZ, dans des milieux biphasiques non saturés, avec des bandes de cisaillement. Une attention particulière est portée à la modélisation numérique de l'EDZ à grande échelle et à la reproduction des mesures hydromécaniques expérimentales.

> **Mots clefs** : bande de cisaillement, zone endommagée, modèle numérique, déchets radioactifs, Stockage

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



**SESSIONS
PARALLÈLES**

MERCREDI 13 JUIN 2018

■ 1-3. Les Argiles Plastiques de l'Yprésien et leur comportement capricieux

Bergère Anne¹, Ropers Françoise¹

1 - TERRASOL (France)

Contrairement aux sols « classiques », l'argile est souvent un sol classé à risque, difficilement identifiable surtout lorsque celle-ci est surconsolidée. L'Argile Plastique de l'Yprésien, en plus d'être une argile surconsolidée comme l'Argile de Flandres et l'Argile de Londres, semble plus sensible au déconfinement et surtout à la teneur en eau. Son potentiel de gonflement est élevé, ce qui rend les reconnaissances délicates et peu fiables. La méthode de foration du sondage, la méthodologie de prise d'échantillon ainsi que celle des essais in-situ au laboratoire influent également fortement sur les résultats. L'incertitude est très forte mais il semblerait que la valeur même obtenue soit très peu fiable. Un peu comme la loi de Schrödinger, nous mettons en évidence les lacunes supposées sur les sondages classiques, et particulièrement le problème de la mesure. C'est la mesure qui perturbe cette argile. L'objet de l'article est de :

- présenter les résultats des différents types d'essais qui ont été réalisés au sein de l'Argile Plastique de l'Yprésien, entre 20 et 40 m de profondeur ;
- de comprendre les résultats des essais et d'identifier leurs limites ;
- de proposer des spécifications pour les reconnaissances.

> **Mots clefs** : *fiabilité des données., procédure essais, essais laboratoire, essais in, situ, Argiles Plastiques de l'Yprésien*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 1-4. Analyse de la dynamique d'un éboulement à partir de données sismologiques et photogrammétriques

Le Roy¹⁻², Amitrano David², Helmstetter Agnes², Guyoton Fabrice¹, Le Roux-Mallouf Romain¹

1 - GEOLITHE (France),
2 - Institut des Sciences de la Terre (France)

Les chutes de blocs peuvent produire d'importants dégâts et dont il est nécessaire de se protéger. Pour ce faire, il convient d'estimer leur aléa, donc de comprendre les mécanismes qui régissent ces phénomènes et leurs propriétés. Sur une zone d'étude sujette aux éboulements, il est possible de mesurer le relief à différentes dates par photogrammétrie, et de comparer des nuages de points obtenus. Cela permet de localiser les zones éboulées, leur volume et leur forme. Cependant, du fait du temps écoulé entre chaque mesure topographique, il existe des inconnues quant à la dynamique des éboulements. Pour pallier ces incertitudes, nous avons instrumenté les falaises du Saint-Eynard et du Mont Granier de stations sismologiques. Cette instrumentation apporte des informations supplémentaires sur l'occurrence exacte des événements, leur durée et leur dynamique. Du fait de l'information instantanée sur l'occurrence d'un événement, il est possible de procéder à un levé topographique directement après celui-ci, et de pouvoir associer les compartiments éboulés aux signaux sismiques enregistrés. Depuis l'installation des stations en 2013 et 2016, de nombreux éboulements ont été détectés, pour des volumes allant de quelques mètres cubes, jusqu'à des événements régionaux majeurs de plusieurs milliers de mètres cubes. Grace aux enregistrements sismiques fréquents, il a été possible de corréler les événements aux signaux sismiques enregistrés. Ainsi, pour un signal sismique donné, on peut retrouver la zone de départ, le volume de blocs effondrés, et éventuellement la zone d'accumulation. La compilation des données sismiques et topographiques obtenues, montre qu'il existe une corrélation entre le volume des éboulements et leur signal sismique. Cette corrélation permet d'envisager une caractérisation à distance des éboulements en fonction de leur signal sismique, et donc, d'adapter la réaction en fonction. Ainsi, il serait possible d'instrumenter certains sites de stations sismiques, et d'envisager une intervention rapide en fonction du signal sismique enregistré.

> **Mots clefs** : *éboulements détection sismologie photogrammétrie*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

1-5. Mise en place d'un protocole de mesure des petites déformations : Proposition d'un nouvelle sonde pressiométrique.

Reiffsteck Philippe¹, Aissaoui Soufyane², Zadjajou Abdeldjalil²

- 1 - IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (France),**
- 2 - Université Abou Bakr Belkaïd, Laboratoire RisAM (Algérie)**

La connaissance du comportement des sols en petites déformations est fondamentale en géotechnique pour calculer les ouvrages de génie civil sous des charges exceptionnelles, ou soumis à des sollicitations sismiques. La vérification des états limites de service nécessite donc une bonne estimation de module de déformation et surtout sa dégradation dans le temps. Il est donc nécessaire pour l'obtention de modules de déformation correspondant au comportement de l'ouvrage en service de connaître son évolution des petites aux grandes déformations. De nombreux essais de reconnaissance permettent de déterminer les paramètres de déformabilité du sol mais aucun essai ne permet la mesure avec précision et fiabilité du module de déformation et encore moins sa dégradation. Pour répondre à cette attente, nous avons conçu une nouvelle sonde pressiométrique dotée d'un capteur à effet Hall. Cette sonde conserve les mêmes caractéristiques géométriques que les sondes existantes. Sa modification permet de répondre aux besoins des ingénieurs praticiens de disposer d'une courbe de dégradation du module de déformation allant des plus faibles taux de déformation jusqu'à des valeurs moyennes. Il s'agit donc de réaliser également un essai pressiométrique spécial. Cette communication présente dans un premier temps, la conception et la validation de la sonde pressiométrique . Dans un deuxième temps utilisation en cuve de l'appareillage sera présentée avec des résultats détaillés.

> **Mots clefs :** Effet Hall, Petites déformations, Pressiomètre, module de déformation, Etalonnage.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

1-6. Mise au point d'une méthode automatique pour la détermination des propriétés géomécaniques de sols in-situ à l'aide du Pandoscope®

Barbier Sébastien¹, Sastre-Jurado Carlos¹, Benz-Navarrete Miguel¹, Haddani Younes¹

1 - Sol-Solution Géotechnique Réseaux (France)

Afin de maîtriser au mieux l'hétérogénéité et la variabilité spatiale des propriétés physiques et mécaniques de sols présents en surface, le développement de techniques et de méthodes légères, rapides, de faible coût, mais surtout permettant d'avoir une quantité importante d'informations soit en profondeur, soit dans l'espace est aujourd'hui nécessaire.

Dans la pratique, le pénétromètre dynamique Panda® (Gourvès, 1991), créé et développé en France à partir des 1990, permet d'enregistrer quasi en continu la résistance du sol en fonction de la profondeur et de multiplier aisément et à faible coût le nombre de sondages. Le pénétrogramme obtenu est très riche en informations sur la stratigraphie et les caractéristiques mécaniques et d'état des sols. Cependant, aucune information sur la nature et/ou la texture du sol traversé n'est disponible sans essai complémentaire. L'essai est ainsi dit aveugle.

Pour remédier à ce problème, différents travaux de recherches permettant de coupler l'essai géoendoscopique à l'essai de pénétration ont été réalisés (Breul, 1999 ; Haddani, 2004). Ces travaux sont aujourd'hui appliqués couramment dans le cadre du diagnostic d'ouvrages de surface. Toutefois l'utilisation de cette méthode de couplage, baptisée Pandoscope®, requiert une certaine expertise. L'efficacité de cette méthode est ainsi fortement dépendante de l'expérience de l'analyste.

L'objectif de ce travail est de proposer et valider une méthodologie automatisée de couplage des données Panda® et géoendoscopiques permettant l'estimation des propriétés du sol en fonction de la profondeur. Afin de valider cette méthode, une base de données d'essais en chambre de calibration a été constituée au laboratoire. Différents types de sols dans différentes configurations viennent donc alimenter cette base de données qui constituera une base d'apprentissage pour le développement des algorithmes d'analyse des mesures Pandoscopiques. Une fois la base constituée, des algorithmes d'apprentissage automatiques sont appliqués sur les résultats pandoscopiques. De ces algorithmes découlent un découpage de chaque moule en couches distinctes. Pour chacune de ces couches, une nature supposée du sol et une signature pénétrométriques sont associées. Ces informations sont ensuite utilisées pour extraire d'une base de données de corrélations les paramètres géomécaniques de chacune des couches.

> **Mots clefs :** corrélation, base de données, apprentissage automatique, calibration, Pandoscope®

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 2-1. Domaines d'application de la réduction de c et ϕ dans les études géotechniques

Meyer Grégory¹, Magnan Jean-Pierre¹

1 - Systra (France)

L'utilisation de facteurs partiels sur les paramètres du sol avant de faire les calculs est l'une des pratiques autorisées par l'Eurocode 7 pour évaluer la sécurité des ouvrages. Elle peut être appliquée à tous les types de calculs. Cette procédure est programmée sous forme automatique dans les logiciels de calcul par éléments finis comme Plaxis. Le calcul par éléments finis avec réduction de c et ϕ n'a pas le même niveau de validation réglementaire selon le type d'ouvrages. La communication analyse différents types d'ouvrages pour lesquels cette approche est soit validée, soit soumise à discussion. Elle propose des domaines et des règles d'application pour la réduction de c et ϕ dans les calculs par éléments finis.

> **Mots clefs** : éléments finis, modélisation, Réduction c ϕ , Eurocode 7

■ 2-2. Calcul des déformations d'un tunnel du métro toulousain lors de terrassement à proximité en utilisant un modèle HMS SMALL

Vincent Savatier¹, Nogue Sanchez Christina¹, Deluzarche Remi¹

1 - EGIS GEOTECHNIQUE- Toulouse (France)

Est présenté le calcul des déformations du tunnel de la ligne A du métro toulousain lors des terrassements nécessaires à l'extension de la station Jean Jaures. Le modèle géotechnique défini par une méthode présentée par ailleurs et incluant la détermination de la variation des modules avec le domaine de déformation est rappelé. La méthodologie utilisée pour déterminer les paramètres du modèle HMS SMALL dans Plaxis à partir de ce modèle est présentée. Le phasage des futurs travaux est présenté ainsi que les principaux résultats des calculs. Une discussion sur l'intérêt du modèle retenu par rapport au modèle HMS est présentée ainsi qu'une réflexion sur l'intérêt de la méthodologie adoptée pour les futurs travaux du métro toulousain.

> **Mots clefs** : SMALL sous Plaxis, essais triaxiaux, essais triaxiaux sous faible déformation, variation des modules avec la profondeur., modèle HMS, variation du modules de cisaillement avec le domaine de déformation, Metro, terrassement à proximité d'un tunnel

■ 2-3. Estimation de la surface comprimée des fondations gravitaires annulaires en statique

Bruchon Jean-François¹, Borely Cyril¹, Cuira Fahd¹, Palix Elisabeth²

1 - Terrasol (France)

2 - EDF-EN (France)

Cette étude s’intéresse à la surface de contact des fondations gravitaires annulaires d’éoliennes offshore soumises à des efforts statiques et en interaction avec le sol de fondation. Différentes combinaisons de charges, stratigraphies et géométries de fondation (circulaire ou annulaire présentant un diamètre intérieur variable) ont été étudiées. Plusieurs approches de calcul ont été employées : analytique, semi-analytique à partir de Foxta, et numérique aux éléments finis à partir de Plaxis3D. L’influence des lois de comportement du sol utilisées dans les calculs aux éléments finis a également été quantifiée. Les résultats des développements analytiques ont été confrontés aux résultats numériques pour les différentes configurations de sol et de fondations. Les principales conclusions de cette étude vis-à-vis de l’estimation de la surface de contact sont : - L’approche analytique, bien que relativement simpliste en termes de représentation du comportement du sol (ressorts homogènes), permet de bien représenter les résultats numériques avec un écart maximal de +/-10% vis-à-vis de la surface comprimée relative (rapport de la surface comprimée sur la surface totale) quelles que soit les hypothèses prises pour les calculs numériques ; - La dispersion des résultats numériques est principalement due à l’approche de modélisation du sol. Une loi simplifiée, telle que la loi élasto-plastique avec l’élasticité linéaire, tend à surestimer la surface comprimée comparée à des lois plus fines capables de prendre en compte les non-linéarités du sol à faibles déformations. Ces résultats confirment que le choix éclairé des paramètres d’entrée d’une modélisation numérique est primordial ; Il apparait donc que l’approche analytique développée dans le cadre de cette étude permet de bien représenter le comportement des fondations superficielles annulaires. D’utilisation simple et rapide, cette approche va permettre de justifier ces fondations et d’ajuster au mieux leur dimensionnement.

> **Mots clefs** : éléments finis, excentricité, surface de contact, fondations gravitaires offshore, étude paramétrique

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

■ 2-4. Estimation du rapport E/EM : application aux radiers de grandes dimensions

Hoang Minh Tuan¹, Cuira Fahd¹, Dias Daniel², Miraillet Pierre³

1 - TERRASOL (France)

2 - Laboratoire 3S-R (France)

3 - EDF (France)

Le pressiomètre est l’un des essais in-situ les plus utilisés en France et de plus en plus courant à l’étranger. Cet essai permet d’évaluer des caractéristiques mécaniques des sols via un module pressiométrique EM et une pression limite pl. Ses résultats sont exploités pour dimensionner plusieurs types d’ouvrage (fondations superficielles et profondes, soutènement). Cette exploitation se fait le plus souvent via des modèles semi-empiriques permettant de traiter de façon directe des cas simples tels que celui d’une semelle isolée, d’un pieu isolé ou d’un écran de soutènement. En dehors du domaine de validité de ces modèles, il est nécessaire de passer par des modèles dérivés de la théorie de l’élasticité ou de l’élasto-plasticité (couplés éventuellement à une discrétisation numérique) et qui nécessitent notamment la qualification « du » module de déformation du sol en cohérence avec le niveau de déformation (ou de contrainte) induite par l’ouvrage. Les corrélations usuellement pratiquées par les bureaux d’études reposent très souvent sur un choix « forfaitaire » du module E comme un multiple du rapport « EM/ pl ». Le choix du facteur multiplicateur (pouvant aller de 1 à 4) ne bénéficie aujourd’hui d’aucun cadre normatif ou réglementaire. Cet article présente une approche alternative pour le choix du rapport E/EM comme fonction « exclusive » du niveau de déformation induit par l’ouvrage. Une loi de type $E/EM = f(pl)$ est développée en se recalant sur les résultats des modèles semi-empiriques dérivés du pressiomètre pour des situations « élémentaires » où ils sont réputés applicables. Cette loi est introduite ensuite dans un modèle semi-analytique dérivé de la théorie de Boussinesq. La performance du modèle est « évaluée » par confrontation au suivi de tassement de radiers de centrales nucléaires d’EDF.

> **Mots clefs** : déformation, radier de grandes dimensions, module, tassement, pressiomètre

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

■ 2-5. Analyse du mécanisme d'interaction sol - armature inextensible VSoL® lors d'un essai statique d'extraction en laboratoire

Chikaras Michalis¹, Chanteperdrix Benoit², Fraysse Lisa²

1 - Consultant Indépendant (Grèce)

2 - VSL (France)

Cet article présente les résultats des essais statiques d'extraction en laboratoire sur des éléments de renforcement sous forme de treillis métalliques soudés VSoL®. Afin d'améliorer la connaissance des conditions de l'interaction sol-armature, on décompose l'interaction mobilisée en frottement latéral sur les barres longitudinales et en butée passive sur les barres transversales dont l'influence est examinée en détail.

> **Mots clefs** : Essai d'extraction, Interaction, Sol renforcé, NF P 94 270, Modélisation numérique, EC7, VSoL®

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 2-6. Influence de la géométrie du front de taille d'un tunnel sur sa stabilité

Bourgeois Emmanuel¹, Hounyevou Klotoe Cédric¹

1 - Université Paris-Est, IFSTTAR, COSYS (France)

La stabilité du front de taille d'un tunnel est un problème tridimensionnel par nature, qui a fait l'objet d'un grand nombre d'études analytiques ou numériques. Les études analytiques, qui reposent sur l'analyse limite ou le calcul à la rupture (Davis et al, 1980, Leca et Panet, 1988, Leca et Dormieux, 1990), ont fait l'objet de développements récents pour définir des mécanismes de rupture pertinents (Wong et Subrin, 2006, Mollon et al, 2010). Les calculs numériques, par éléments finis ou par différences finies, permettent de manière relativement simple de prendre en compte des stratigraphies complexes ou des paramètres géométriques variés (on peut citer parmi de nombreux autres exemples Dias et Kastner, 2005), et d'étudier par exemple l'influence de la forme de la section. Dans ces études, le front de taille est généralement considéré comme vertical. Cependant, pour un tunnel construit de manière conventionnelle, c'est-à-dire sans utiliser un tunnelier, il est possible de réaliser, au cours du creusement, un front de taille de géométrie différente, de manière à améliorer la stabilité du front. Dans cette communication, nous présentons des études tridimensionnelles par éléments finis pour étudier la stabilité d'un front de taille incliné ou courbe. Après avoir défini le problème et présenté l'approche adoptée pour les simulations numériques, nous discutons l'influence de la géométrie du front de taille sur sa stabilité, pour un matériau frottant et pour un matériau purement cohérent, et pour deux profondeurs relatives. Nous discutons également l'influence de la finesse du maillage sur les résultats. Les résultats indiquent qu'un front incliné ou courbe est plus stable qu'un front vertical, ce que l'on pouvait anticiper, et permettent de quantifier le gain de stabilité en termes de facteur de sécurité. Ce gain de stabilité dépend du type de terrain et de la profondeur du tunnel.

> **Mots clefs** : éléments finis, tunnel, stabilité

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 3-1. Les Pieux forés - Règles de l'art - Version 2018

Perlo Sabrina¹, Maurel Cécile², Laurent Loïc³,
Laheurte Philippe⁴, Rouxel Nicolas⁵

- 1 - Cerema, Direction Infrastructures de Transport et Matériaux (France),
- 2 - Cerema, Direction Ile de France (France),
- 3 - Cerema, Direction Nord-Picardie (France),
- 4 - Cerema, Direction Sud-Ouest (France),
- 5 - Cerema, Direction Ouest (France)

Un guide sur l'exécution des pieux forés « Les pieux forés » Recueil des règles de l'art » a été édité en 1978 par le SETRA et le LCPC. Ce dernier est encore beaucoup utilisé par la profession, mais souffre d'une certaine obsolescence en raison des avancées des technologies. De ce fait, ce guide, conçu sous le pilotage du Cerema et financé par la DIT, actualise la pratique de la réalisation des pieux forés concernés par la norme d'exécution NF EN 1536, soit les « Pieux exécutés en place » Classes 1 et 2 », en intégrant les nouveaux procédés et les avancées technologiques identifiées ; Comme les pieux réalisés à la tarière creuse, qui voyaient leurs premiers jours en 1978, et qui constituent désormais plus de la moitié des fondations profondes réalisées en France. Ces pieux, dits de classe 2, présentent des différences notables dans leur phasage de réalisation, dans les adaptations de formulation du béton, ainsi que dans leur contrôle en cours de chantier. De plus, dans de nombreux cas, ils doivent faire appel à une technicité plus pointue, avec des conséquences, en cas d'inéquation, plus graves que dans les autres techniques, qui autorisent le changement de l'outil de forage durant la réalisation du pieu. De même, l'accent est porté sur la richesse des informations fournies par l'acquisition et le stockage de données, comme par exemple les paramètres de forage et de bétonnage, permis par les avancées technologiques. Utilisés correctement, ils favorisent la qualité des pieux réalisés et sont un apport au contrôle en cours d'exécution et a posteriori. Ce guide a pour objectif, d'une part, d'être un support et un référentiel technique en priorité au service des concepteurs et des maîtres d'oeuvre, mais également à l'ingénierie géotechnique au sens large (bureaux d'études, d'essais, de contrôle, entreprises de fondation ...), et d'autre part, de favoriser la qualité des pieux et de fournir des indications claires pour leur contrôle, limitant ainsi les sources de litige. Ce guide est le fruit d'une collaboration entre le Cerema, IFSTTAR, les syndicats professionnels (entreprises, contrôle, laboratoires d'essais) et des maîtres d'ouvrages (DIR, ADP, SNCF).

> **Mots clefs** : contrôle, auscultations, forage, tarière creuse, armatures, bétonnage, pieux forés, fondations profondes, réparations

.....

.....

.....

.....

.....

■ 3-2. Maitrise de la consolidation d'un grand remblai routier :
Une progression par étapes

Pezot Benoit¹, Pouemi Parfait², Moufo Jean³, Kenmogne Emmanuel⁴, Spaulding Charles⁵

- 1 - Sol Expert (France),
- 2 - Solétanche Bachy Cameroun (Cameroun),
- 3 - Labogénie Cameroun (Cameroun),
- 4 - Géofor Cameroun (Cameroun),
- 5 - Solétanche Bachy (France)

Le projet du second pont sur le Wouri est réalisé en conception-réalisation pour le compte du gouvernement du Cameroun par un groupement d'entreprises Vinci comprenant Solétanche-Bachy et Sogea Satom. Sol Expert International a piloté le phasage de réalisation des remblais de 8 m de hauteur réalisés sur des terrains fortement compressibles d'environ 20 m d'épaisseur, en particulier la « Bretelle » d'accès au rond-point Deido, formant l'accès Est. La particularité de cette mission est la difficulté qui a été rencontrée de disposer d'un modèle géotechnique du sous-sol pour les analyses, et la nécessité qui en a résulté de se baser sur les méthodes de rétro-analyse par approches successives, tout en respectant les durées contractuelles. Chacune des approches successives est utile et correspond à une révision partielle ou complète de l'approche précédente : i) approche A : à l'aide des sondages et des essais de laboratoire associés ; ii) approche B : à partir de l'analyse d'un remblai d'essai sur une zone du site ; iii) approche C : à partir de l'analyse de paliers dans les chargements par remblai ; iv) approche D : à partir de l'analyse du comportement sous surcharge. En dépit des difficultés pour établir un modèle fiable des conditions géotechniques, et en présence de tassements de consolidation pouvant atteindre 2m sous le poids des remblais, la méthode présentée a permis la réalisation du projet dans les coûts et délais impartis, tout en gardant la maîtrise du risque des tassements résiduels sous chaussées à 10 ans.

> **Mots clefs** : préchargement, tassement, secondaire, primaire, consolidation, surcharge

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 3-3. Le drain électropneumatique sous vide, avancée innovante pour les infrastructures et le génie civil.

Gress Jean-Claude¹

1 - GRESS (France)

Des sites naturels peuvent être affectés par des grands glissements de terrain, avec des surfaces de cisaillement localisées à plus de 20m de profondeur. Il peut arriver aussi que ce soit au cours de la construction de l'infrastructure de type tunnel dans un versant que l'on se rende compte que le versant est instable, alors que le tunnel est en cours de réalisation. Enfin, la réalisation d'une infrastructure peut générer un grand glissement. La solution de stabilisation de ces grands glissements, si elle est possible, n'est pas mécanique mais de type drainage profond associé à une gestion des eaux de ruissellement, de façon à éviter leur infiltration. La pompe électropneumatique, mise au point en 1994, dans sa conception première, a permis sur de nombreux chantiers la stabilisation des masses instables en rabattant la nappe de 15à30m de profondeur. Des exemples de chantiers traités en Europe seront donnés (Castelhaven, Angleterre ; Tunnel de Moutier, Suisse,...). Au fur et à mesure de l'utilisation de ce type de dispositif, deux avancées ont été souhaitées. La première : possibilité de pomper à plus de 40m de profondeur, avec un compresseur de 7bar. La seconde : forcer l'eau à aller vers les drains, ceux-ci étant en général espacés de 10m. C'est l'objet d'une deuxième génération de pompes. Pour répondre à la première attente, la pompe a été dotée de deux corps superposés de diamètres différents, permettant par le rapport des sections, d'amplifier l'effet de la pression de 7bar. La deuxième attente a été satisfaite, en mettant le forage sous vide, la conception de la pompe permettant son fonctionnement dans le vide. Il est alors possible de pomper à des profondeurs de 80m et de compléter le drainage de l'eau libre par une partie de l'eau liée. A noter que l'alimentation électrique peut être fournie par une éolienne moyenne ou par des panneaux photovoltaïques. Ces drains électropneumatiques sont intéressants pour la réalisation de grandes fouilles, sous l'eau dans les terrains de perméabilité faible à moyenne (< 10-4m/s). Un exemple en Roumanie sera présenté à IASI (120 drains). Enfin, ils peuvent être utiles pour la dépollution de site, exemple donné.

> **Mots clefs** : stabilisation, drain électropneumatique, glissements

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 3-4. Bloc Armé®, ouvrage passif de protection contre les mouvements de terrain

Lorentz Julien¹, Jarrin Jean-Philippe¹, Meignan Lucas¹

1 - Géolithe (France)

L'ouvrage bloc armé® a été mis place en bordure amont d'une route dans les Alpes, comme ouvrage de protection passif contre les mouvements de terrain. L'ouvrage bloc armé® est composé de blocs préfabriqués en béton, reliés par un réseau d'armatures métalliques modulaire et continu. L'ouvrage, d'une hauteur de 5 m, a été ancré au terrain avec des barres inclinées.

> **Mots clefs** : ouvrage protection bloc armé béton armatures métalliques

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 3-5. Contribution à la définition de la qualité des structures souples à assises en matériaux latéritiques du Sénégal

Ndiaye Massamba¹, Magnan Jean-Pierre², Cissé Lamine³

- 1 - École Supérieure Polytechnique de Dakar (Sénégal),
- 2 - IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (France),
- 3 - Agence des travaux et de Gestion des Routes (Sénégal)

Les travaux rapportés dans cet article présentent l'état actuel des connaissances pour la définition de la qualité des structures souples à assises en matériaux latéritiques du Sénégal. Ils présentent également les pratiques usuellement utilisées au Sénégal pour la définition des stratégies d'entretien routier et le manque de consensus, noté sur la définition des valeurs seuils de déflexions d1 et d2, entre les différents acteurs intervenant dans le domaine de la conception et de la gestion des infrastructures routières. Les résultats obtenus par l'Agence des travaux et de Gestion des Routes (AGEROUTE) du Sénégal, pour la définition des valeurs seuils d1 et d2 des structures souples (à assise latérite non traitée/latérite non traitée) et semi-rigide (à assise latérite améliorée au ciment/latérite non traitée), sont également présentés. Ces travaux devront être confirmés par des mesures de déflexions sur des structures en service réparties dans les différentes zones climatiques du Sénégal et étendus aux structures bitumineuses épaisses et mixtes. L'aboutissement de ce travail constituera une étape importante pour l'élaboration du futur guide de renforcement des chaussées du Sénégal.

> **Mots clefs** : *entretien, stratégie, gestion, renforcement, route*

■ 3-6. Nouvelle Route du Littoral : les fondations du Grand Viaduc en mer

Matras Rémy¹, Danan Guillaume², Léonard Romain³, Boucaux Ludovic⁴, Durand Frédéric⁴

- 1 - EGIS Géotechnique (France),
- 2 - Egis JMI (France),
- 3 - Demathieu et Bard Construction (France),
- 4 - Vinci Construction (France)

Implanté entre falaise et océan, le projet de la Nouvelle Route du Littoral, d'une longueur de 12 km, a été conçu par la société Egis pour remédier aux risques que connaît l'actuelle RN1 reliant la capitale St Denis à l'Ouest de l'île : éboulements de falaise et houles cycloniques. Le tracé comporte un tronçon de viaduc de 5 400 m comportant 50 appuis et 49 travées de 80 à 120m, qui en fera le plus long viaduc en mer de France. Les fondations de chacun des appuis ont nécessité plusieurs campagnes de reconnaissances géophysiques et géotechniques particulièrement poussées, en vue de fiabiliser une conception adaptée aux conditions géotechniques du site, en intégrant pour la phase de travaux les contraintes maritimes extrêmes de la côte Nord de l'île.

> **Mots clefs** : *maritime, ile de la Réunion, conception, fondation, viaduc, egis*

■ 4-1. Prise en compte de la dispersion spatiale des paramètres dans la justification des ouvrages géotechniques

Bergère Anne¹, Pillard Hans¹, Cuiira Fahd¹, Fry Jean-Jacques²

**1 - TERRASOL (France),
2 - EDF-CIH (France)**

Les justifications des ouvrages géotechniques suivent généralement des approches déterministes avec considération de coefficients de sécurité partiels ou globaux. Ces coefficients sont évalués pour que dans les cas courants, le niveau de sécurité de l’ouvrage respecte les probabilités de défaillance (ou les indices de fiabilité) imposées dans les documents normatifs. Ils considèrent une incertitude type sur la donnée d’entrée au sein du calcul. L’article présente une étude menée pour apprécier la dispersion spatiale des paramètres de dimensionnement sur l’indice de défaillance. Utilisant la position de la donnée d’entrée géotechnique afin d’optimiser le calcul, elle ne considère plus la dispersion naturelle comme une véritable incertitude de mesure mais comme une information supplémentaire à intégrer au calcul. La méthode consiste en une étude variographique des données d’entrée, qui permet de définir des distances et modèles de corrélation spatiale des paramètres géotechniques. Le modèle est alors divisé en macro-éléments indépendants, de dimensions comparables aux distances de corrélation. C’est ici le krigeage qui est adopté. C’est une méthode d’interpolation intégrant la corrélation spatiale, capable d’évaluer l’espérance et l’écart-type de l’erreur pour chaque macro-éléments en fonction de la position de la donnée. L’écart type est alors le plus faible au niveau de la position de la donnée. Le krigeage est associé à la méthode probabiliste des surfaces de réponse, la RSM. Rapide et fiable, elle permet, à partir d’un nombre limité de calculs déterministes, de calculer avec précision un indice de fiabilité pour l’ouvrage. La méthode est testée sur un cas réel d’ouvrage en terre et montre des résultats encourageants. Le niveau de sécurité est augmenté pour cet ouvrage par rapport à l’utilisation de méthodes déterministes ou probabilistes classiques, notamment grâce à la précision apportée sur la localisation des zones critiques du sol.

> **Mots clefs** : RSM, indice de fiabilité, optimisation, dispersion spatiale, krigeage

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

■ 4-2. Analyse géomorphologique et structurale de MNT obtenus par LIDAR aérien sur des grands glissements pyrénéens

Valdivielso François¹, Laheurte Philippe¹, Sabatier David², Perrot Xavier³, Virely Didier¹

**1 - Centre d’études et d’expertise sur les risques, l’environnement, la mobilité et l’aménagement (France),
2 - Direction interdépartemental des routes du Sud-Ouest (France),
3 - Mining topographic survey and imaging (France)**

Pour le suivi des glissements dits «orphelins» dans les Pyrénées, des modèles numériques de terrain de haute définition ont été acquis au moyen de Lidar aéroportés. Une fois la déforestation virtuelle de ces MNT effectuée, une analyse géomorphologique et structurale des versants est réalisée. Les principaux apports de ces travaux sont présentés.

> **Mots clefs** : géomorphologie, glissement, modèle numérique de terrain

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

■ 4-3. L'effet barrage : mythe ou réalité ?

Floriat Sébastien¹

1 - EGIS Géotechnique (France)

L'effet barrage est un phénomène redouté par tous les maitres d'ouvrages de projets souterrains. A tort ou à raison ? L'effet barrage est un phénomène qui se traduit par une remontée du niveau de la nappe à l'amont du projet et une baisse à l'aval. Il peut être caractérisé par son amplitude (verticale, par rapport à la piézométrie initiale) et sa portée (horizontale, à travers la zone d'influence hydrogéologique). Il peut générer des impacts significatifs sur les avoisinants du projet et, de manière plus globale, sur l'environnement du projet : notamment des problématiques d'inondations de caves, ou de tassement différentiel. Pour mieux comprendre et appréhender ce risque, il est nécessaire de connaître ses principes, ses facteurs dimensionnant et les méthodes et moyens disponibles pour l'étudier quantitativement. L'effet barrage est fonction du modèle géologique (épaisseur et perméabilité des matériaux), de la longueur de coupure (qui dépend de la géométrie de l'ouvrage et de l'angle d'incidence), de la hauteur de coupure (ratio hauteur de nappe interceptée par le projet / épaisseur totale de nappe) et du gradient hydraulique de la nappe. Il n'existe pas de méthode analytique pour calculer cet effet barrage. Il est donc nécessaire de passer par une modélisation numérique 3D afin d'avoir une représentation précise du projet, de tester la sensibilité aux conditions aux limites et de disposer des sortants utiles (charge et champ de vitesse). L'article présente également la typologie des ouvrages souterrains rencontrés (tunnels, tranchées, enceintes...) et leur propension à générer un effet barrage. Plusieurs cas-types sont présentés pour illustrer cet exposé et montrer l'impact du contexte (géologique notamment), avant de conclure sur la bonne approche à mettre en oeuvre dès les études préliminaires des grands projets. Au démarrage d'un projet, le risque doit être étudié et contextualisé en fonction des résultats des calculs (portée, amplitude), de la nature des terrains (compressibilité), de la sensibilité des avoisinants au tassement, de la profondeur de la nappe et de la proximité des enjeux (captages, zones humides...). Une analyse rapide par un hydrogéologue expérimenté peut suffire à évaluer le risque et décider des suites à donner.

> Mots clefs : hydrogéologie, effet barrage, ouvrage souterrain

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

■ 4-4. Gestion des risques résiduels, responsabilités et assurances

Robert Jacques¹

1 - ARCADIS (France)

En 2017, pratiquement tous les projets d'infrastructures, mais seulement quelques projets de bâtiments, imposent la mise en oeuvre d'une gestion des risques. Par contre, la méthodologie est très variable d'un projet à l'autre, et les erreurs du début du management de la qualité sont reproduites : complexité, recherche de l'exhaustivité au détriment de l'efficacité et de la hiérarchisation, nébulosité conduisant à un fort désir d'enterrer le processus pour pouvoir réaliser les travaux soi-disant dans un souci d'efficacité. Devant cette énergie dépensée en pure perte alors que la gestion des risques devrait être ressentie comme un outil important aussi bien au stade de la conception que des travaux et non comme une contrainte supplémentaire à oublier rapidement, il est grand temps de revenir à l'essentiel : identifier les risques majeurs et importants dès les premières phases de la conception pour retenir les dispositions constructives permettant de les réduire (réduction des incertitudes), classer les risques résiduels par criticité décroissante, tout en prédefinisant les mesures de détection au plus tôt et les mesures correctives en cas de survenance, affecter la gestion de chaque risque résiduel à la partie la plus à même d'en assumer la responsabilité par sa fonction, et vérifier l'adéquation du programme d'assurances en responsabilité professionnelle mis en place par les intervenants par rapport à ces risques. Pour atteindre cet objectif, les documents élaborés doivent être le plus simple possible, les risques à faible conséquence doivent être gérés directement par l'intervenant désigné contractuellement (maître d'ouvrage, maître d'oeuvre, entreprise) et les assureurs ne doivent intervenir qu'en cas de problème rencontré d'un enjeu supérieur aux franchises des assurances couvrant les divers intervenants. Tant que ces conditions ne seront pas clairement respectées, la gestion des risques restera une démarche subie et non recherchée pour contribuer à la réussite de tout projet.

> Mots clefs : hiérarchisation risques, risques résiduels, assurances

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

■ 4-5. Risques liés aux cavités à Orléans : Prédispositions, gestion et intérêt du scan 3D portatif « Zeb-Revo »

Froidevaux Mylène¹, Noury Gildas², Ksibi Imed³, Yart Silvain², Dewez Thomas²

- 1 - UFR Sciences Exactes et Naturelles, Reims (France),
- 2 - Bureau de recherches géologiques et minières (France),
- 3 - Orléans Métropole, Direction des Risques et de la Prévention (France)

Tous deux partenaires du projet de recherche régional SICAVOR (Système d'information contextuel sur les caves d'Orléans), le BRGM (Direction des Risques et de la Prévention) et Orléans Métropole (Direction des Risques et de la Prévention) réalisent en 2017 une action commune visant à évaluer les risques de mouvements de terrain pouvant affecter les cavités recensées. Dans un contexte urbain particulièrement dense, la ruine partielle ou totale des aménagements souterrains peut en effet conduire à des effondrements ou des affaissements dommageables pour les enjeux existants en surface et néfaste à la préservation du patrimoine architectural étudié. L'intégration de la nature géologique de l'encaissant dans lequel ont été creusées ces caves et carrières de petite à moyenne taille apporte de nouvelles connaissances sur la configuration, par nature hétérogène, du sous-sol de la ville (calcaire de Beauce) et sur l'usage qui en a été fait dans le passé. Les informations historiques collectées par Orléans métropole ainsi que celles de la base de données SICAVOR permettent par ailleurs de classifier les facteurs de prédispositions aux instabilités et ainsi de progresser vers une meilleure prise en compte de cet aléa dans l'aménagement. En parallèle, la réalisation de tests d'un outil de cartographie 3D « à grand rendement », le scan laser 3D ZEB-REVO, oeuvre des perspectives, non seulement dans la gestion intégrée du risque lié aux cavités, mais aussi dans la valorisation du patrimoine souterrain pour les spécialistes et le grand public.

> **Mots clefs** : risque, valorisation, scan laser, Orléans, urbanisme, patrimoine, mouvement de terrain, cavité, cartographie, 3D

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 4-6. Evaluation de l'aléa versant rocheux sous-cavé

Cherkaoui Auxane¹, Herbaux Margaret², Watelet Jean-Marc¹, Berenger Nathalie², Kreziak Charles², Mathon David², Berche Véronique²

- 1 - Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (France),
- 2 - Cerema (France)

Le paysage français est exposé à une grande variété de mouvements de terrain répartis sur l'ensemble du territoire. Lorsque des falaises présentent des cavages donnant accès à des cavités souterraines, anthropiques ou naturelles, potentiellement sources d'affaissements ou d'effondrements, on parle de versants sous-cavés. L'aléa mouvement de terrain doit alors prendre en compte à la fois le versant et la cavité. Alors que l'aléa mouvement de terrain lié aux cavités souterraines et celui lié aux versants rocheux disposent de méthodes de caractérisation et d'identification adaptées, il n'existe pas de méthodologie spécifique pour déterminer l'aléa versant rocheux sous-cavé. Au vu de ce constat, l'Ineris et le Cerema se sont associés, avec la collaboration de la DGPR (Direction Générale de la Prévention des Risques) pour proposer une méthodologie commune d'évaluation de l'aléa versant rocheux sous-cavé. Cette méthodologie se base sur la connaissance combinée de la prédisposition du site aux instabilités et de l'intensité potentielle de ses dernières. L'intensité de l'aléa se détermine en fonction de la hauteur des éléments instables et de leur volume. Elle peut être aggravée par le volume des éléments mobilisables lié à la présence et aux caractéristiques de la cavité. La probabilité d'occurrence de l'aléa, ou plutôt ici la prédisposition du site vis-à-vis de la rupture, dépend de nombreux facteurs d'instabilités regroupés en deux catégories : le niveau d'activité du massif et les facteurs aggravants. Le niveau d'activité du massif est évalué à partir de facteurs d'ordre essentiellement géomorphologique comme la lithologie, le contexte structural et la morphologie du site qui permettent de qualifier l'état des structures rocheuses. Les facteurs aggravants, comme l'eau, les phénomènes climatiques, la végétation et les actions anthropiques sont quant à eux susceptibles de modifier les conditions d'équilibre du milieu et d'accélérer la rupture. Le croisement de ces deux catégories permet d'obtenir le niveau de prédisposition. Il peut être alors éventuellement aggravé par l'influence de la cavité sur le massif estimé par le croisement entre l'état de stabilité de la cavité souterraine et le volume des vides créé par l'excavation.

> **Mots clefs** : interaction, cavité, versant, méthodologie, aléa

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 5-1. Clouage des sols : passage court terme / long terme et proposition d'amélioration du dimensionnement traditionnel

De Sauvage Jean¹, Rajot Jean-Pierre¹

1 - IFSTTAR - Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (France)

Le clouage des sols est aujourd'hui (2017) encore l'objet de questionnements quant à la répartition des efforts entre les clous d'un soutènement d'excavation et son évolution lors du passage de court terme à long terme. Traditionnellement, ces questions sont occultées dans les méthodes de dimensionnement basées sur les calculs de stabilité de pente, où les efforts mobilisables dans les clous proviennent de l'analyse multicritère de la rupture de chaque clou, en tenant compte ou non des déplacements le long de la courbe de rupture potentielle considérée. Ceci conduit par exemple à trouver systématiquement les efforts plus importants dans le clou du bas de la paroi dont la faible sollicitation est pourtant notoire. Les limitations de ces méthodes conduisent également à s'interroger sur la valeur des efforts au parement et ont mené à l'actuelle révision de la norme NF P 94-270 portant sur les massifs en sol renforcé. Dans ce contexte, une coopération entre l'INSA Lyon, GTS et l'IFSTTAR a permis l'instrumentation durant 600 jours d'un mur cloué expérimental, haut de 7.50 m, dans une carrière située à Bévenais (France). L'ouvrage a été construit puis sollicité par une tranchée creusée en pied d'ouvrage. Les efforts observés ont été comparés, d'une part, aux prévisions par méthode conventionnelle (logiciel Prosper) et, d'autre part, à une modélisation en déformations avec le programme CESAR-LCPC. Alors que le sol en place était constitué de graves propres (8 % de fines) non saturées, une augmentation de 150 % des efforts normaux a été observée dans le clou central sur une période de 500 jours à partir de la fin de construction de l'ouvrage. Cet accroissement pourrait être lié à une diminution de cohésion apparente générée par le déconfinement initial de la grave. Les efforts se rapprochent alors des valeurs obtenues par dimensionnement conventionnel, en supposant la résistance au cisaillement du sol pleinement mobilisée. Par ailleurs, la comparaison des résultats de calcul et des mesures de terrain a permis de montrer que l'introduction dans la méthode de calcul conventionnelle, d'un déplacement non uniforme le long de la courbe permet d'obtenir une répartition plus proche de celle observée.

> **Mots clefs** : méthode de calcul, cohésion apparente, ouvrage expérimental, distribution des efforts, long terme, clouage des sols

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 5-2. Justification des coques en PRV par modélisation aux éléments finis

Vrazinis Matthieu¹

1 - Antea Group (France)

Les ouvrages en coque PRV, ou Polyester Renforcé en fibres de Verre, sont à présent fréquemment employés pour la réalisation d'ouvrages d'assainissement neufs, ou comme renforcement de structures d'ouvrages hydrauliques existants. Offrant une alternative intéressante aux ouvrages structures de tuyaux en acier ou béton, l'usage des coques PRV est sera amené à se multiplier jusqu'à devenir une référence pour les ouvrages hydrauliques posés en tranchée, en galerie ou foncés avec un micro-tunnelier. Les coques PRVelles présentent également des géométries diverses, allant du circulaire classique à l'arche en passant par l'ovoïde. La conception de tels ouvrages impose, en plus d'un calcul de résistance mécanique étudié dans une problématique structures, une justification par un calcul d'interaction sol/structure, validant les critères de déformations et de sollicitations. Pour un confortement renforcement d'ouvrage ancien, la coque PRV est directement chemisée à l'intérieur de l'existant, l'espace annulaire étant comblé par un coulis de ciment. L'existant est alors supposé en ruine et remplacé par les horizons en place, la coque reprenant l'intégralité des contraintes du massif du sol. La modélisation aux éléments finis d'un tel cas suppose un phasage finement choisi ainsi qu'une approche réaliste du comportement de la structure existante et des matériaux en place. Les choix de lois de comportements de sol et de la structure, les paramètres d'élasticités, la prise en compte de la consolidation des terrains jouent un rôle prépondérant sur l'allure des résultats. Lors de la réalisation d'ouvrages neufs en tranchées se pose également la question de la modélisation des matériaux d'enrobage, jouant un rôle central puisqu'il assure la transmission des efforts à la coque. Au final, l'étude de ces ouvrages via les calculs aux éléments finis donnent les clefs de la compréhension du comportement mécanique d'ouvrages aux géométries complexes et permettent d'étudier l'impact de choix de modélisation sur leurs sollicitations. que permettent difficilement les approches analytiques simplifiées édictées par les règlements et recommandations en vigueur telles que le Fascicule 70 ou les recommandations ASTEE 3R 2014.

> **Mots clefs** : Matériaux, Hydraulique, Dimensionnement, Calcul: Assainissement, Eléments finis, PLAXIS, Modélisations, Fibres, Polyester, PRV, Coques, Tranchée, Chemisage

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5-3. Influence d'un critère fermé sur le comportement du ballast ferroviaire : modélisation stationnaire

Badinier Thibault¹⁻², Maiolino Siegfried¹, Maitournam Habibou²

1 - Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (France),

2 - IMSIA (UMR 9219), ENSTA ParisTech, CNRS, CEA, EDF, University of Paris-Saclay (France)

Le comportement macroscopique du ballast ferroviaire peut être simulé à l'aide de lois de comportement élastoplastique classiquement utilisé en géotechnique. Les critères classiques comme celui de Mohr-Coulomb ou de Drucker-Prager permettent de représenter un mode de rupture du matériau par friction. Ce modèle de comportement tolère les fortes pressions et ne permet pas de tenir compte de modes de rupture plus complexe comme ceux liés à la rupture des grains eux-mêmes par exemple. Afin de prendre en compte à la fois la rupture des particules et la rupture en friction du matériau, Einav (2007) propose un critère unique représentant un comportement couplé. Dans cette étude, nous proposons d'étudier l'influence de l'utilisation de ce critère fermé en comparaison avec un critère classique de Drucker-Prager, dans les conditions d'utilisation du ballast sous trafic. Lors de la simulation numérique, nous mettons en oeuvre une méthode de calcul eulérienne utilisant une modélisation par éléments finis, l'algorithme stationnaire. Cet algorithme est particulièrement bien adapté à la représentation du comportement des structures sous une charge en mouvement en réduisant drastiquement le temps de calcul par rapport à des méthodes par incrément de temps. L'utilisation de critère fermé sera plus complexe à mettre en oeuvre et plus gourmande en temps de calcul. Un critère classique, comme celui de Drucker-Prager, permettra un calcul plus simple et plus rapide. L'un ou l'autre critère peut se révéler pertinent suivant l'état de contrainte induit par le chargement ferroviaire et les domaines de sollicitation des critères. Les champs de déformations obtenues après chargement avec les deux types de critères sont comparés afin d'évaluer leur impact sur la quantité de déformation plastique ainsi que l'écart entre les deux modélisations.

> **Mots clefs** : Modélisation numérique, Prager, Drucker, Critère, Algorithme Stationnaire, Éléments finis, Ballast, Ferroviaire

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

5-4. Modélisation tridimensionnelle des rideaux de palplanches par la méthode des coefficients de réaction MISS-CR-PLQ

Mokeddem Abdelhamid¹, Elachachi Sidi Mohammed¹, Yanez Godoy Humberto¹

1 - Université de Bordeaux, I2M - GCE, UMR 5295 (France)

Le recours à la modélisation tridimensionnelle des ouvrages géotechniques est parfois une nécessité surtout en présence de sollicitations extérieures non uniformes sur l'ouvrage, ou encore pour un sol présentant une forte hétérogénéité. Actuellement, les modèles numériques 3D se basent sur des représentations en massif par les éléments finis ou les différences finis. Du point de vue précisions et finesse des résultats, ces méthodes restent assez performantes pour reproduire le comportement tridimensionnel des rideaux de palplanches. Cependant à cause du temps de calcul très onéreux, elles ne sont pas forcément adaptées pour mener une analyse de fiabilité de niveau III (Eurocode 0, [1]) dans le but d'intégrer l'effet de la variabilité spatiale du sol. L'objectif de la présente communication vise à apporter quelques éléments de compréhension sur : la méthode des coefficients de réaction, nommé ici MISS-CR-PLQ, pour la modélisation tridimensionnelle des rideaux de palplanches afin de montrer l'avantage qu'elle procure en termes d'efficience. L'intérêt de la prise en compte de l'effet de la variabilité spatiale du sol sur le comportement mécanique de ces ouvrages. La démarche suivie est organisée en deux phases : La construction du modèle numérique MISS-CR-PLQ qui consiste à associer d'une part, une plaque orthotrope pour prendre en considération l'orthotropie géométrique du rideau de palplanches et d'autre part, des coefficients de réaction élastoplastiques pour modéliser la non linéarité de l'interaction sol-structure. La validation de la méthode MISS-CR-PLQ, soit en comparant les résultats obtenus avec ceux d'un ouvrage instrumenté (exemple Hochstetten), soit en les comparant avec ceux obtenus par un autre modèle de calcul. L'analyse menée se fait sur la base de calculs déterministes établis et les résultats traités sont de type moment fléchissants, déplacement, efforts dans les tirants. [1] NF EN 1990, 2003. Eurocodes structuraux - Bases de calcul des structures, AFNOR.

> **Mots clefs** : CR, PLQ, palplanche, coefficients de réaction, MISS, Modélisation tridimensionnelle

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

■ 5-5. Etude du comportement en déplacement de micropieux en traction

Toubassy Lama¹, Cuirah Fahd², Darras Vivien¹, Habert Julien³

- 1 - SOFREN GROUP (France),
- 2 - TERRASOL (France),
- 3 - Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (France)

Le comportement en déplacement des micropieux travaillant en traction est actuellement appréhendé en s'inspirant des règles développées pour les fondations profondes : Des méthodes aux courbes de transfert, associée aux lois d'interaction de Frank et Zhao, sont en particulier couramment utilisées. Néanmoins ces lois ont été développées pour des pieux présentant d'une part un diamètre compris entre 60 et 100 cm, et d'autre part sensiblement plus rigides et moins élancés que les micropieux. C'est pourquoi, dans un premier temps, la base d'essais de chargement de micropieux en traction constituée dans le cadre du Projet National ARCSOP a été utilisée pour évaluer les méthodes de prévision du déplacement dans le cas de micropieux travaillant en traction à différents niveaux de chargement. La dispersion des méthodes de prévision est notamment appréciée, permettant d'afficher un niveau de confiance également dans le cadre de la prévision des déplacements des micropieux. Dans un second temps, le mécanisme de rupture lié notamment à la longueur sur laquelle le frottement axial peut être considéré (longueur scellée) et au type du sol, a été étudié. La compréhension de ce dernier phénomène permet d'affiner la prévision du comportement des micropieux isolés travaillant en traction.

> **Mots clefs** : déplacement, lois d'interaction, base d'essais de chargement, micropieux, ARSCOP

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 5-6. Analyse et comparaison des auscultations du tunnel routier du Fréjus et de sa galerie de sécurité

De La Fuente Manuel¹⁻², Sulem Jean², Taherzadeh Reza¹, Subrin Didier³

- 1 - Tractebel (France),
- 2 - Ecole des Ponts ParisTech, Navier/CERMES (France),
- 3 - Centre d'Etudes des Tunnels (France)

L'objectif du présent travail est de mieux comprendre le phénomène du terrain poussant qui peut être rencontré lors du creusement d'un tunnel profond. Ce type de comportement est de caractère différé et anisotrope. L'étude est basée sur l'interprétation et comparaison des auscultations réalisées dans deux tunnels parallèles sous les mêmes conditions géotechniques. Dans le cadre de la galerie de sécurité du Fréjus, creusée au tunnelier entre 2009 et 2016, le comportement du terrain poussant est difficile à quantifier car le terrain est immédiatement recouvert par la pose des voussoirs. C'est grâce à la présence du tunnel routier parallèle à la galerie et qui se trouve à une inter-distance de 50 m que les convergences du terrain peuvent être étudiées. Ce tunnel a été excavé dans les années soixante-dix en méthodes conventionnelles. Des mesures d'auscultation ont été réalisées dans le tunnel routier sur une période de quelques mois avant la réalisation du revêtement définitif, ce qui permet de bien distinguer l'effet d'avancement du front et l'effet du temps lié au comportement différé du massif. Les mesures de convergence du tunnel routier et de sa galerie de sécurité sont analysées de manière exhaustive. Une comparaison entre les deux ouvrages avec une identification des zones avec un comportement mécanique similaire a été réalisée. Le but a été de déterminer une loi de comportement visco-élasto-plastique et anisotrope adaptée au terrain à l'aide des mesures de convergence du tunnel routier. L'information du massif obtenue dans l'étude du tunnel routier sera extrapolée aux zones de la galerie de sécurité qui présentent un comportement similaire. Ce travail nous permettra de réaliser une future rétro-analyse sur les mesures des contraintes dans les voussoirs de la galerie de sécurité pour comprendre son comportement à court et à long terme.

> **Mots clefs** : tunnel routier du Fréjus, terrain poussant, galerie de sécurité du tunnel du Fréjus, rétro, analyse

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 6-1. Caractérisation des plans de discontinuités des schistes du Briovérien de la région de Rennes

**Rangeard Damien¹, Guiheneuf Simon¹,
Merrien-Soukatchoff Véronique², Dabard Marie-Pierre³**

- 1 - Laboratoire GCGM: matériaux EA 3913, INSA de Rennes (France),**
- 2 - Laboratoire Géodésie Géomatique Géosciences Aménagement et Droit Foncier (GeF) (France),**
- 3 - Géosciences-Rennes, Université de Rennes 1, CNRS UMR 6118 (France)**

Le sous-sol rennais est principalement constitué de matériaux datés du Briovérien, et présente différentes lithologies, depuis des siltites fines jusqu'à des grès moyens. Au cours de leur histoire, ces dépôts ont été plissés, et ont subi un métamorphisme de faible niveau. Ils présentent ainsi actuellement un comportement fortement anisotrope lié à la stratification, la schistosité, et à une densité forte de fracturation. Sur l'ensemble de la région Rennaise, la schistosité de direction E-O est souvent sub-verticale et superposée à la stratification. L'altération a également entraîné une évolution dans le plan vertical ou l'on retrouve en tête des terrains très altérés, et la roche non altérée en profondeur. Entre ces deux extrêmes, le matériau est considéré comme un sol induré roche tendre depuis la sub-surface et sur des épaisseurs souvent supérieures à 30 mètres. Les ouvrages construits dans le périmètre urbain de la ville de Rennes sont donc implantés dans ces matériaux intermédiaires. Les travaux présentés dans cette communication concernent principalement la caractérisation des plans de discontinuités de ces matériaux qui vont conditionner le comportement des ouvrages (notamment de soutènements) réalisés dans ce contexte. Compte tenu du caractère intermédiaire des matériaux, les outils classiquement utilisés en mécanique des roches ou en mécanique des sols ne sont pas ou mal adaptés à la caractérisation des caractéristiques de cisaillement de ces matériaux. Une méthode de caractérisation adaptée à ces matériaux intermédiaires est développée en utilisant une boîte de cisaillement de type boîte de Casagrande, L'utilisation de ce type d'outil expérimental classiquement utilisé en mécanique des sols est plus économique et plus simple de mise en oeuvre que l'utilisation de boîte de cisaillement pour roches. Les résultats d'essais réalisés sur des plans de discontinuités prélevés sur différents site de travaux de la ville de Rennes sont présentés. Ceux-ci permettent notamment de mettre en évidence l'effet de la pétrographie de la roche sur les caractéristiques de frottement des plans de discontinuité. Aussi, des essais réalisés en immergeant le plan de cisaillement ont permis de montrer la différence de sensibilité à l'eau des plans de cisaillement suivant le faciès dans lequel ils ont été prélevés.

> **Mots clefs** : *cisaillement, schiste, sols indurés roches tendres*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 6-2. Comportement hydromécanique d'une craie marine altérée

**Muhammed Rawaz Dlawar¹⁻²⁻³, Canou Jean³, Dupla Jean-Claude³,
Palix Elisabeth⁴, Duc Myriam⁵**

- 1 - Koya University (Irak),**
- 2 - Université Pierre et Marie Curie - Paris 6 (France),**
- 3 - Laboratoire Navier (France),**
- 4 - EDF-EN (France),**
- 5 - IFSTTAR (France)**

L'installation d'un parc éolien offshore au large de Fécamp (France), à une douzaine de km de la côte, est actuellement à l'étude. Dans cette zone, on rencontre une craie spécifique affleurante, contenant des nodules de silice. On présente dans cette communication les résultats d'essais de caractérisation hydromécaniques pour ce matériau, réalisés sur des éprouvettes triaxiales de grande taille (phi 300 mm). L'accent est mis sur la caractérisation des premiers mètres de ce matériau altéré afin de fournir des données destinées à la conception et au dimensionnement d'embases gravitaires devant servir de fondation aux éoliennes. Une série d'essais de cisaillement monotones et cycliques de type consolidé non drainé, ont été réalisés, sur des éprouvettes confectionnées à partir de carottes de 100, 300 et 500 mm de diamètre. Des mesures de perméabilité ont été également faites avant et après la réalisation de chaque essai. Les résultats montrent que le matériau présente un comportement dilatant et génère de surpressions interstitielles négatives sous chargement monotone en conditions non drainées (CIU). L'effet du séchage de l'échantillon avant l'essai est également discuté. Lors des essais de chargements cycliques non drainés, le matériau accumule des surpressions interstitielles positives significatives accompagnées d'une accumulation assez importante de la déformation axiale. Les résultats indiquent également que le drainage (dissipation des surpressions interstitielles), après une séquence de cycles, induit une densification du matériau qui résulte, lors d'un cisaillement monotone post-cyclique non drainé, à une réponse plus dilatante, ce qui entraîne, par conséquent, des valeurs plus élevées de la résistance au cisaillement.

> **Mots clefs** : *surpressions interstitielles, chargement cyclique, triaxial, craie marine*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 6-3. Modélisation numérique thermo-hydro-mécanique de l'ouverture/fermeture d'une fissure de dessiccation

Giot Richard¹, Hedan Stephen¹, Cosenza Philippe¹

1 - Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers - éq HydrASA (France)

Le suivi sur plusieurs années d'un front de galerie de la station expérimentale de Tournemire par métrologie optique, sur une zone d'étude 35,5 x 27,5 cm², a mis en évidence la présence de fissures de dessiccation sensibles aux variations d'humidité relative dans la galerie (fermées en période estivale sous 90<RH<98% et ouvertes lorsque l'humidité relative est plus faible). Ces fissures sub-horizontales (parallèles à la stratification de la roche) et sub-verticales (perpendiculaires à la stratification) présentent des valeurs d'ouverture allant de 0,2 à 0,5 mm et des cinématiques d'ouverture différentes. Ces différences de valeurs pourraient être dues à une longueur de fissure différente au sein du massif rocheux.

Dans ce travail, on se propose d'étudier conjointement l'extension et l'ouverture de fissures de dessiccation en paroi d'une galerie au sein d'un massif rocheux argileux. Des modélisations numériques couplées thermo-hydro-mécaniques aux éléments finis permettent de reproduire l'ouverture et la longueur apparente en paroi de fissures initialement prédéfinies, pour une sollicitation thermique et hydrique donnée. Les modélisations numériques en conditions partiellement saturées permettent d'imposer en paroi de galerie une condition hydrique correspondant à l'humidité relative mesurée in situ. Ces premières modélisations simplifiées permettent de proposer une extension de fissures en profondeur, au sein du massif et peuvent être utilisées pour recalculer certains paramètres rhéologiques de la roche.

> **Mots clefs** : massif argileux, fissure de dessiccation, couplages THM, Modélisation numérique, ouvrage souterrain

.....

■ 6-4. Porosité active dans l'argilite du Callovo-Oxfordien

Belmokhtar Malik¹, Delage Pierre¹, Ghabezloo Siavash¹, Conil Nathalie²

1 - Ecole des Ponts ParisTech, Navier-CERMES (France),
2 - Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (France)

Dans les argiles gonflantes, les interactions eau-argile sur les smectites provoquent l'adsorption de l'eau, et l'eau interstitielle des argiles ne peut être entièrement considérée comme de l'eau libre. Des études de microstructure ont récemment montré que les mécanismes d'hydratation des smectites expliquaient aussi le comportement d'hydratation et le gonflement des argilites du Callovo-Oxfordien (une roche hôte potentielle pour le stockage des déchets radioactifs profonds en France), avec environ 25% de la porosité totale contenant des molécules adsorbées dans les pores intra-plaquettes. A partir de ces résultats, les données de mesures poroélastiques effectuées dans une cellule de compression isotrope ont montré que la porosité à prendre en compte pour un calcul correct du paramètre de Skempton n'est pas la porosité totale, mais la proportion de 75% correspondant à l'eau libre.

> **Mots clefs** : microstructure, gonflement, porosité active, Eau adsorbée, argilite

.....

■ 6-5. Paramètres poroélastiques isotropes transverses de l'argilite du Callovo-Oxfordien

Belmokhtar Malik¹, Ghabezloo Siavash¹, Delage Pierre¹, Conil Nathalie²

- 1 - Ecole des Ponts ParisTech, Navier-CERMES (France),
- 2 - Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (France)

On présente une détermination détaillée des paramètres poroélastiques de l'argilite du Callovo-Oxfordien conduite à l'aide d'une cellule de compression isotrope avec un suivi précis des déformations, à partir d'essais de compression drainés, non-drainés et sans membrane. Du fait de la faible perméabilité de l'argilite, un taux de chargement de 0,5 kPa/min est adopté pour les essais drainés. Les résultats des divers essais présentent une bonne compatibilité, et on déduit également des résultats les coefficients de Biot isotropes transverses b_1 (perpendiculaire au litage) et b_2 (parallèle au litage), ainsi que le module de compression sans membrane $K_s = 21,7$ GPa.

> **Mots clefs** : coefficients de Biot, isotropie transverse, poroélasticité, Cellule isotrope, module de la phase solide

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 6-6. Contribution à l'étude de l'endommagement des grains d'un sable sous haute pression

Messiouf Seyf Eddine¹, Khouaouci Mohammed², Feia Sadok¹, Elandalousi Radja³, Dadda Abdelali⁴

- 1 - Laboratoire de Génie Civil (Algérie),
- 2 - Faculté de Génie Civil, Université des Sciences et Technologie Houari Boumediene, Alger, (Algérie),
- 3 - Université Paris-Est, Laboratoire Navier, CERMES, Ecole des Ponts ParisTech (France),
- 4 - Sols, Solides, Structures-Risques, Grenoble (France)

Ce travail est consacré à l'étude de l'effet de l'endommagement des grains d'un sable sous fortes contraintes. Cette étude explore l'effet des paramètres tels que : la durée de chargement, la saturation de l'éprouvette et le mode de préparation de l'éprouvette. Les résultats montrent que le pourcentage des particules fines augmente légèrement avec : la durée de chargement «fluage», la saturation de l'éprouvette et l'éprouvette préparée par voie sèche.

> **Mots clefs** : essais œdométriques, matériau granulaire, fluage, endommagement

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7-1. Vers une meilleure prévision des tassements instantanés et différés**Mahmutovic Dino¹, Boutonnier Luc¹, Frezet Jean-François¹, Normand Mathieu², Skotarczak Alexandre³****1 - EGIS Géotechnique (France),****2 - EGIS EAU (France),****3 - Guintoli (France)**

Cet article s'inscrit dans le cadre du projet de renforcement de la digue du Rhône entre Beaucaire et Fourques pour le compte du SYMADREM. Le projet prévoit la construction de digues résistantes à la surverse par le biais de recharges en aval en enrochements liaisonnés au béton. Bien qu'efficaces contre les surverses cette technique est relativement contraignante vis-à-vis des tassements dans les premiers mois de l'ouvrages en raison de la forte rigidité de la recharge aval liaisonnée au béton. Ce risque est accentué par le fait que les sols d'assises du projet sont très compressibles. Pour mieux appréhender les amplitudes de tassements et leur cinétique, un remblai d'essai instrumenté a été construit. Ce dernier a été équipé de tassomètres permettant d'avoir le tassement total au cours du temps ainsi que d'élongamètres permettant d'avoir le tassement par couche de 1m au cours du temps. Cet article est dédié à l'exploitation des résultats de ce remblai et au calage d'une nouvelle technique de calcul des tassements instantanés et différés. Le calcul se base notamment sur la compressibilité du fluide interstitiel dans les sols fins proches de la saturation, thématique largement abordée dans le cadre du projet ANR TERREDURABLE.

> **Mots clefs** : air occlus, fluide compressible, succion, sols non saturés, sols fins, prévision, tassements

7-2. Corrélations entre paramètres géotechniques sur des formations géologiques de la Région Parisienne**Jacquard Catherine¹, Vuillaume Benoit¹****1 - FONDASOL (France)**

L'objectif de l'article est de présenter les résultats d'une étude des corrélations entre paramètres géotechniques pour certaines formations géologiques de la région parisienne : les Argiles Vertes, les Sables de Beauchamp et les Sables de Fontainebleau. Il s'agira d'abord de fournir une description des caractéristiques géotechniques de ces terrains résultant de l'analyse d'une base de données contenant les résultats de très nombreux essais in-situ et en laboratoire collectés entre 2012 et 2017 dans le cadre des investigations du projet Grand Paris. Cette analyse sera mise en regard avec les travaux de G. Filliat, qui propose une présentation de la géologie parisienne et des caractéristiques géotechniques qui lui sont associées, dans son ouvrage « La pratique des sols et fondations » (1981). Puis, les différentes corrélations entre paramètres géotechniques, issues de travaux de recherche antérieurs seront passées en revue. Les corrélations examinées sont principalement celles reliant la cohésion non drainée et la pression limite pressiométrique ou la résistance de pointe mesurée au pénétromètre statique à pointe électrique pour les argiles, et celles reliant l'angle de frottement interne et pression limite pressiométrique pour les sables. Ces corrélations seront évaluées à l'aide des éléments de la base de données de résultats des essais in-situ et en laboratoire. Enfin, une analyse comparative de trois approches (pressiométrique, pénétrométrique et oedométrique) permettant l'évaluation du module de déformation des argiles sera présentée.

> **Mots clefs** : module de déformation, corrélations, paramètres géotechniques

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 7-3. Procédure pour la mesure du coefficient des terres au repos K_0 par les essais en place

Reiffsteck Philippe¹, Benoit Jean², Desanneaux Gilles³, Fanelli Sonia¹, Karagiannopoulos Panagiotis Georgios⁴, Habert Julien³

- 1 - IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (France),
- 2 - University New Hampshire (États-Unis),
- 3 - Centre d'études et d'expertises sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (France),
- 4 - IFSTTAR-Jean Lutz SA (France)

La connaissance du coefficient des terres au repos K_0 à l'aide de mesures en place peut être très utile à la modélisation des ouvrages. Il intervient en effet lors de l'évaluation de la stabilité des pentes, des poussées ou de soulèvement lors de travaux d'excavation. Cette communication a pour objet de présenter les moyens et les procédures utilisable pour évaluer cet état de contrainte. Des résultats d'essais collectés depuis de nombreuses années avec différents méthodes par l'IFSTTAR et à l'UNH sur différents sites français et étrangers sont présentés. On présentera notamment des essais réalisés à l'aide du pressiomètre autoforeur, du pressiomètre Ménard, du dilatomètre Marchetti et des essais de fracturation hydraulique. On insistera sur les pistes suivies dans le cadre du projet ARSCOP dédié au pressiomètre. Des capteurs de pression totale ont été également mis en place et mesuré sur une longue période. Sur les échantillons prélevés sur les sites, des essais triaxiaux à chemin de déformation contrôlé avec mesure de déformation radiale ont été réalisés. Les résultats de ces essais sont présentés et commentés.

> **Mots clefs** : sol essais en place K_0 coefficient des terres au repos

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 7-4. Retour d'expérience sur le scissomètre.

Boutet Claire¹, Ferreira Matthias¹

1 - Hydrogéotechnique (France)

Dans de nombreuses problématiques géotechniques, la cohésion non drainée des sols est une donnée importante. Les moyens actuels pour l'estimer sont limités au scissomètre in situ, aux essais en laboratoire et aux corrélations. Ces dernières, bien que très utiles pour valider un modèle géotechnique, doivent être utilisées avec prudence en fonction des sites et des études. Les essais en laboratoires sont ponctuels et coûteux. Finalement, le scissomètre semble être un bon compromis pour déterminer la cohésion non drainée des sols. Mais ce dernier manque de popularité dans les études géotechniques et est rarement utilisé par les entreprises. L'objectif de cet article est de présenter un retour d'expérience sur cet essai. Nous travaillons sur plusieurs sites avec le scissomètre et souhaitons faire partager les connaissances acquises. Sur nos sites d'études, cet essai est accompagné d'une campagne géotechnique complète afin d'obtenir une bonne connaissance des sols et d'analyser au mieux les résultats du scissomètre. Nous relierons scissomètre, CPT et essais en laboratoire, en passant en revue les différentes corrélations trouvées dans la littérature.

> **Mots clefs** : scissomètre

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 7-5. Instrumentation et mesures de convergence au sein des démonstrateurs d’alvéoles de stockage du laboratoire souterrain de L’ANDRA

Gay Olivier¹, Teixeira Pierre¹, Bumbieler Frédéric², Lesoille Sylvie²

1 - EGIS SE (France),

2 - Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (France)

L’Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs (Andra) a construit sur la commune de Bure (Meuse / Haute-Marne) un Laboratoire de recherche souterrain, dans lequel ont été mises en oeuvre des expérimentations à caractères scientifique et technologique. Le programme multidisciplinaire (géologique, hydrogéologique, géochimique et géomécanique) en Laboratoire Souterrain (situé à 490m de profondeur) comporte un certain nombre d’expérimentations destinées à évaluer la constructibilité, la sûreté et la réversibilité d’un éventuel stockage de déchets radioactifs dans les argilites du Callovo-Oxfordien. Dans les concepts de surveillance des ouvrages souterrains, des instrumentations sont envisagées pour suivre les alvéoles de stockage de déchets HA qui consistent en des micro-tunnels horizontaux équipés d’un chemisage en acier. Un des besoins de mesure est le suivi de la convergence de ce chemisage. Egis a proposé puis mis en oeuvre (in situ et sur maquette en laboratoire) différentes technologies soit par mesures directes de variations de diamètres soit par mesures indirectes de déformations ou de variations du périmètre. Il a notamment été mis en place des fibres optiques suivant une circonférence pour évaluer cette convergence. Le présent article expose le benchmark mené par Egis sur différents capteurs et différentes technologies ainsi que l’exploitation des premières mesures. Ainsi, l’instrumentation, l’observation et la surveillance de ces ouvrages sont des outils du processus d’exploitation de stockage. Elles contribuent à répondre aux besoins de connaissances nécessaires à l’exploitation du stockage à long terme et à la mise en oeuvre potentielle de sa réversibilité.

> Mots clefs : convergence, ouvrage souterrain, Instrumentation, fibre optique

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 7-6. Détermination du module d’élasticité dynamique à partir du PANDA 3®

Tran Quoc Anh¹, Benz Navarrete Miguel Angel¹,
Guardeño Garcia Marta¹

1 - Sol Solution, Riom, France (France)

L’essai de pénétration est un essai largement répandu et utilisé pour la caractérisation des sols en place. Il en existe de différents types : statique, dynamique, avec une pointe, avec un carottier etc... Le pénétromètre Panda® est un pénétromètre dynamique léger à énergie variable. L’essai consiste à enfoncer dans le sol au moyen d’un marteau, une tige coiffée d’une pointe. Avec les dernières évolutions technologiques de cet appareil - le Panda3®, on peut obtenir à chaque impact une courbe complète donnant la contrainte au niveau de la pointe en fonction de l’enfoncement de celle-ci. Depuis quelques années, avec la révolution rapide d’acquisition de capteurs et du traitement du signal numérique, on développe à Sol Solution des outils d’analyse des signaux obtenus par le Panda 3® permettant d’exploiter la réponse du système (Panda 3® + sol) sous la sollicitation dynamique. Ainsi, cette démarche nous apporte une nouvelle approche permettant de caractériser les paramètres du sol. Nous présenterons dans cet article une nouvelle approche permettant de déterminer le module dynamique EKd(w) du sol traversé en fonction de la fréquence. En assimilant la pointe du pénétromètre à une plaque circulaire encastrée dans un milieu élastique semi-infini, il est possible de déterminer (par Boussinesq) et tracer le module de déformation EKd(w) complexe en fonction de la fréquence (w). Cette approche sera évaluée à l’aide du biais des essais au laboratoire et in-situ. Une comparaison avec d’autres techniques, permettant de quantifier le module Ev2 et Evd obtenus par les biais des essais de chargement à la plaque et à la plaque dynamique légère est également réalisée.

> Mots clefs : essais à la plaque, Panda 3, Module d’élasticité, dynamique, pénétromètre, situ, Essais in, Ev2, Evd

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 8-1. Comportement des pieux sous chargement cyclique : cas des sables

Le Kouby Alain¹

1 - IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (France)

Dans le cadre du projet SOLCYP (SOLLicitations Cycliques sur les Pieux), des essais de pieux sur site dans du sable ont été effectués sur deux types de pieux (pieux forés et pieux battus) dans la commune de Loon Plage. Les pieux ont été instrumentés à l'aide de l'extensomètre amovible de l'IFSTTAR dans le but de mesurer de manière indépendante les frottements latéraux et la résistance en pointe. Le programme d'essais comprenait des essais de chargement statiques et cycliques ainsi que des essais en traction et en compression. En premier lieu, des essais de chargement statiques ont été effectués sur des pieux en traction et en compression afin de pouvoir comparer les frottements mesurés pour ces deux sens de chargement. Puis des essais de chargement cyclique ont été effectués. Plusieurs objectifs ont été définis. Tout d'abord, plusieurs séquences cycliques avec des chargements maximums croissants ont été appliqués fin d'étudier l'histoire de chargement. De même, un des objectifs est d'estimer la dégradation de la capacité portante des pieux après chargement cyclique ainsi que sur ses deux composantes : frottement latéral et la résistance de pointe. A l'aide de l'extensomètre amovible, il a été possible de suivre l'évolution de la distribution des efforts le long du pieu entre chaque cycle ce qui nous a permis de caractériser certains transferts de charge entre les tronçons supérieurs des pieux et certains tronçons de pieu inférieurs. Une loi de dégradation inspirée du modèle de Matlock and Foo (1980) est proposée. De même, un calage des paramètres à partir des résultats des mesures a été réalisé avec une loi de calcul des accumulations de déplacement disponible (Poulos, 1989).

> **Mots clefs** : mode d'installation, chargement cyclique, sable, pieu

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

■ 8-2. Evaluation du potentiel de liquéfaction de la plaine alluviale de Bejaia, au nord-est de l'Algérie

Khiatine Mohamed¹, Bahar Ramdane¹, Reiffsteck Philippe²

1 - University of Sciences and Technology Houari Boumediene (Algérie),
2 - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (France)

Le nord de l'Algérie est une zone fortement sismique, comme en témoigne la sismicité historique au cours des dernières décennies, il a connu plusieurs tremblements de terre modérés à forts. Par conséquent, les problèmes d'ingénierie géotechnique impliquant un chargement dynamique des sols et du système d'interaction sol-structure nécessite, en présence de formations saturées de sable lâche, des études de liquéfaction. La ville de Bejaia, située au nord-est d'Alger, en Algérie, fait partie de la plaine alluviale qui coeuvre une superficie d'environ 750 hectares. Selon le code sismique algérien, il est classé comme zone de sismicité modérée. Cette zone n'avait pas connu dans le passé le développement urbain en raison des différents dangers identifiés par les études hydrauliques et géotechniques menées dans la région. La faible capacité de support du sol, sa haute compressibilité et le risque de liquéfaction et d'inondation sont parmi ces risques et constituent une contrainte sur l'urbanisation. Par conséquent, les sols ont besoin d'un traitement pour réduire le risque. De nombreuses recherches sur le terrain et en laboratoire, le forage de base, le test du pressomètre, le test de pénétration standard (SPT), le test du pénétromètre à cône (CPT) et le test de dépistage géophysique ont été effectués dans différents endroits de la zone. La majeure partie de la zone se compose de sable fin limoneux, parfois hétérogène, n'a pas encore atteint un degré de consolidation suffisant. La profondeur de l'eau souterraine est localisé à partir de 3.0 m . Ses recherches montrent que le phénomène de la liquéfaction est l'un des problèmes critiques pour les ingénieurs géotechniques et l'un des obstacles rencontrés dans la phase de conception des projets. Cette communication présente une analyse pour évaluer le potentiel de liquéfaction, en utilisant une méthode empirique basée sur l'essai de pénétration du cône (CPT) et d'une analyse numérique.

> **Mots clefs** : FLAC, facteur de sécurité, CPT, potentiel de liquéfaction, Finn

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

■ 8-3. Etude de liquéfaction induite par le séisme de 2011 dans la ville d'Urayasu

Kteich Ziad¹, Labbe Pierre¹, Javelaud Emmanuel², Semblat Jean-François³, Bennabi Abdelkrim¹

- 1 - Institut de Recherche en Constructibilité, ESTP (France),
 2 - EDF Ceidre TEGG (France),
 3 - ENSTA Paris Tech (France)

Le séisme de 2011 de la côte Pacifique du Tohoku avec une magnitude de $M_w = 9$ a provoqué une liquéfaction sévère et un effondrement du sol dans la nouvelle partie de la ville d'Urayasu au Japon. Cet article présente une étude détaillée sur l'apparition de la liquéfaction dans la ville d'Urayasu causée par ce séisme. Une méthode semi-couplée est proposée pour prédire la montée de pression interstitielle dans plusieurs endroits de la ville. Cette méthodologie est une combinaison d'un calcul équivalent linéaire qui nous permet de calculer l'historique de distorsions à plusieurs profondeurs et d'une formulation pour le calcul des déformations volumétriques plastiques à partir des historiques de distorsions, basée sur les travaux de Byrne (1991) et de Wu (1996). Les paramètres de sol demandés pour cette méthode sont un profil V_s , les résultats SPT, les courbes de dégradation des matériaux et les données géotechniques classiques (masse volumique, coefficient de poisson). Cette approche a été menée pour simuler la liquéfaction et les tassements sismo-induits à 12 endroits de la ville en utilisant le programme à éléments finis Code Aster développé par EDF. Les 12 profils de sol choisis pour cette étude sont des profils dont on connaît les données d'entrée nécessaires pour notre méthode ainsi que des enregistrements et des observations réelles pour en valider les résultats numériques.

> **Mots clefs** : linéaire équivalent, montée de pression interstitielle, chargement sismique, liquéfaction, Urayasu

■ 8-4. Quelques considérations pratiques autour de la pratique de la méthode NCEER pour l'étude du risque de liquéfaction

Cuira Fahd¹, Ropers Françoise¹, Hocdé Manuel¹

1 - TERRASOL (France)

Les méthodes simplifiées de quantification de l'aléa liquéfaction reposent sur l'introduction de facteurs de sécurité basés sur la comparaison entre la contrainte de cisaillement induite par le séisme de projet (Cyclic Stress Ratio, CSR) et de la résistance au cisaillement cyclique offerte par les matériaux du site (Cyclic Resistance Ratio, CRR). Si cette dernière a historiquement été définie à partir d'essais cycliques en laboratoire, les difficultés de prélèvement et de conditionnement d'échantillons intacts ont progressivement ouvert la voie aux exploitations indirectes à partir de régressions statistiques sur des résultats d'essais in situ (en premier lieu desquels le SPT et le CPT). Dans ce contexte, la procédure semi-empirique dite « NCEER », formalisée par Youd et Idriss (2001) à la suite des séminaires NCEER/NSF de 1996/1998 s'est imposée comme la référence internationale en matière de quantification de l'aléa. La systématisation du recours à cette procédure, démocratisé par la facilité d'accès à ses données d'entrée (résultats d'essais in situ bon marché) conjuguée à sa simplicité d'implémentation dans des outils de calcul, se heurte néanmoins aux ambiguïtés et/ou insuffisances de l'arsenal normatif existant et des guides de recommandations spécifiques. Nous présentons ici une analyse des principaux points d'achoppement de l'implémentation de la procédure NCEER dans le cadre méthodologique et normatif applicable à la catégorie des ouvrages projetés et en lien avec les hypothèses initiales du domaine de validité de la procédure. La réflexion est dans un deuxième temps portée sur les indicateurs complémentaires existants dans la littérature et dépassant le cadre strict de la procédure : disposition spatiale des épaisseurs liquéfiables cumulées (CTL), indice de potentiel liquéfaction (LPI), indice de gravité vis-à-vis de la liquéfaction (LSN). Associés à l'évaluation des tassements sismo-induits (s1D), ces indicateurs apportent un éclairage spatial à l'analyse restreinte aux facteurs de sécurité, et ouvrent la perspective à des cartographies multicritères de l'aléa.

> **Mots clefs** : NCEER, Liquéfaction, conception parasismique

■ 9-1. Planche de compactage expérimentale - Etude de l'impact du sens de compactage

Mahmutovic Dino¹, Boutonnier Luc¹, Bufalo Maurice²

**1 - EGIS Géotechnique (France),
2 - VALERIAN TP (France)**

Cet article s'inscrit dans le cadre du projet ANR Terredurable (2012 - 2017) dont l'objectif est d'améliorer la conception des ouvrages en terre) en combinant recherche expérimentale et théorique avec le retour d'expérience des praticiens. Une planche de compactage a été réalisée sur des matériaux fins de type A2 à Chambray-lès-Tours au bord de l'autoroute A10. Cette planche avait pour objectif d'étudier l'effet du sens de circulation des engins de compactage et du nombre de passes sur les caractéristiques mécaniques du sol. Deux plots de compactage ayant un état initial similaire ont été instrumentés en capteurs de contrainte totale et de déformation avant d'être compactés. L'effet du sens de compactage a ainsi été étudié après 2 passes, 4 passes, 8 passes et 16 passes à l'aide de l'instrumentation en place ainsi qu'à l'aide d'essais in situ (essais Panda, mesures au gammadensimètre) et d'essais de laboratoire (essais oedométriques, triaxiaux, compression simple, Proctor, mesures de succion, essais d'identification,...).

> **Mots clefs** : planche d'essai, sols non saturés, succion, pathologies, sols fins, Compactage

■ 9-2. Constitution et exploitation d'une base d'essais de chargement en traction de micropieux et d'ancrages

Habert Julien¹, Toubassy Lama², Darras Vivien², Cuiras Fahd³

**1 - Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (France),
2 - SNCF Réseau (France),
3 - TERRASOL (France)**

Les micropieux et les ancrages présentent des technologies d'exécution identiques et une sensibilité similaire s'ils sont soumis à des efforts de traction permanents. La sensibilité de l'exécution de ces ouvrages, liée i) au choix de la technique de forage, ii) aux caractéristiques des phases d'injection sous pression éventuelles et iii) aux conditions de terrain rencontrées, explique la difficulté de prédire le comportement, et notamment la résistance de ces ouvrages. Leur résistance est actuellement estimée en France par des règles semi-empiriques. Elle fait appel aux caractéristiques pressiométriques des terrains rencontrés, qui apparaissent néanmoins distinctes selon que des micropieux ou des tirants sont considérés : les règles de la norme NF P94-262 relative à la justification des fondations profondes et des recommandations TA95 sont respectivement utilisées. Dans le cadre du Projet National ARSCOP, une valorisation des essais de traction statique systématiques dans le cadre de chantiers a été réalisée et une base d'essais a été constituée et analysée. L'homogénéisation des méthodes de dépouillement, associée à la fiabilisation des essais effectivement retenus, a ainsi permis i) l'appréciation des différents critères conventionnels permettant de dériver la résistance mesurée, ii) l'évaluation des règles semi-empiriques de prévision des résistances et des charges critiques de fluage basées sur les caractéristiques pressiométriques et iii) la quantification de leur dispersion, indispensable à l'estimation de la résistance caractéristique utilisée dans la démarche de justification requise par les Eurocodes.

> **Mots clefs** : résistance, traction, essais, ancrages, Micropieux, fluage

■ 9-3. Proposition d’une nouvelle courbe P-y à partir des courbes pressiométriques

Baccara Rim¹⁻², Burlon Sébastien¹, Reiffsteck Philippe¹, Frikha Wissem²

1 - IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l’Aménagement et des Réseaux (France),
 2 - Ecole Nationale d’Ingénieurs de Tunis (Tunisie)

Pour certains ouvrages exceptionnels comme les éoliennes terrestres ou marines et les plates-formes pétrolières, la composante transversale est considérable. Cette charge est éventuellement transmise aux fondations qui supportent la structure. En effet, quand un pieu est sollicité transversalement, il résiste soit en se déplaçant soit en fléchissant. Dans les deux cas, le pieu mobilise des réactions dans le sol pour équilibrer les charges appliquées. Pour analyser le comportement des pieux chargés transversalement, une modélisation permettant le calcul de déplacement est nécessaire. La méthode la plus utilisée est la méthode des modules de réaction qui se base essentiellement sur la théorie de Winkler (1867). Cette dernière définit le sol comme des tranches indépendantes superposées et chaque couche est modélisée par un ressort de raideur kh (coefficient de réaction du sol), sur lequel s’appuie le pieu. La pression de contact à l’interface sol-pieu « p » ne dépend que du déplacement horizontal « y » et d’un coefficient de réaction de sol. Dans cet article, on traite l’estimation des déplacements horizontaux des pieux soumis à des chargements transversaux et l’étude de leur comportement. Les calculs sont réalisés au moyen de la méthode des courbes p-y. On se propose de développer deux méthodes de construction des courbes p-y. La première méthode se base sur l’utilisation, point par point, des courbes pression-volume issues d’un essai au pressiomètre. La deuxième consiste à une amélioration du module de réaction proposé par Ménard et al. (1969), adoptée ultérieurement par la norme française (fascicule 62). On propose une application de ces deux méthodes sur deux cas d’étude dont on possède les valeurs expérimentales des déplacements et des moments des pieux pour plusieurs profondeurs. Dans le premier cas le pieu est sollicité transversalement en tête. Dans le second cas, le pieu est soumis à des poussées de longue durée en raison d’une pente mobile. Les nouvelles courbes p-y issues des deux méthodes proposées seront introduites dans le logiciel PiLate élaboré à l’IFSTTAR et les résultats numériques des déplacements et des moments seront confrontés aux résultats expérimentaux.

> **Mots clefs** : pieux, charge transversale statique, pressiomètre

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 9-4. Géostrucure Energétique Innovante : Le Micropieu énergétique débouchant

Rendu Stéphane¹

1 - Rendu (France)

La technique du Micropieu énergétique débouchant résulte d’un principe géotechnique qui est qu’un micropieu (Diamètre < 250 mm) transmet la charge qui lui est appliquée uniquement par frottement latéral sur la surface d’ancrage caractérisée par l’interface sol-coulis. On considère donc que la base du micropieu peut être libre, donc débouchante. Le corps du micropieu, espace intérieur de l’armature tubulaire, n’a pas de fonction portante. Les efforts consécutifs aux descentes de charges axiales sont repris en frottement latéral à l’interface coulis-sol (le coulis remplissant l’espace annulaire du micropieu). Le chauffage par géothermie verticale nécessite l’introduction de sondes géothermiques dans des forages pouvant atteindre une centaine de mètres, profondeur résultant d’une part des besoins énergétiques du bâtiment et d’autre part des apports calorifiques du sous-sol. Après réalisation d’un forage destructif (profondeur 50 m ou plus), l’armature tubulaire nécessaire au transfert des charges structurelles au sol est descendue et bloquée à la cote utile à la reprise des efforts par frottement latéral soit généralement entre 10 et 25 m environ. Ensuite, deux doubles sondes géothermiques, diamètre 25 ou 32 mm, sont descendues à l’intérieur de l’armature jusqu’à la traverser par le pied pour atteindre le fond du forage soit 50 m ou plus. Les avantages de l’innovation sont de i) pouvoir adapter, dans tous les cas de structures portées par un nombre défini de micropieux ancrés dans un horizon porteur, les longueurs de forages nécessaires à la géothermie pour le chauffage de la structure dans un milieu caloporteur ; ii) pouvoir rechercher un milieu ayant un meilleur rendement calorifique, celui-ci augmentant avec la profondeur du fait du gradient thermique qui est de 1° environ tous les 33 mètres ; iii) pouvoir étager les pieds de sondes à volonté en fonction des contraintes environnementales ; iv) pouvoir adapter le pied des sondes en fonction de la présence d’une éventuelle nappe d’eau et v) réaliser dans un même temps les fondations et le chauffage d’un bâtiment sans encombrement extérieur. D’un point de vue économique, ce système est avantageux pour le maître d’ouvrage, car dans le même forage sont combinés fondations et chauffage.

> **Mots clefs** : géotechnique, géothermie, géostrucure, fondations, micropieu, chauffage, énergie renouvelable, économie d’énergie

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 9-5. Une nouvelle méthode d'injection de micropieu : l'Injection de Serrage Unitaire

Utter Nicolas¹, Berthelot Patrick², Vidil Paul¹, Prugnaud Aurélien¹

1 - Solétanche Bachy (France),

2 - Bureau Véritas (France)

La Norme d'Application Nationale de l'Eurocode 7 pour les fondations profondes, NF P94-262, définit quatre types de micropieux dans son annexe A : les micropieux type I et II, les micropieux injectés mode IGU (type III) et mode IRS (type IV). Or, les micropieux type III sont en réalité ceux qui donnent les résultats les plus variables en termes de résistance de frottement axial, car ils sont fortement tributaires du temps d'attente entre le remplissage du coulis de gaine et l'injection d'un deuxième coulis sous pression dans le forage. Le présent article traite d'un nouveau type de micropieu, sous Injection de Serrage Unitaire, dit micropieu ISU ; ce procédé breveté vise d'une part à améliorer la qualité d'exécution des micropieux injectés, et d'autre part à rendre plus efficace la réalisation des micropieux. La particularité du système d'injection, en lieu et place d'un tube à manchettes utilisé pour les micropieux de types III et IV, est une virole en tête de forage, venant chapeauter l'armature et permettant l'injection du micropieu. Le document décrit le procédé et les différents essais réalisés dans plusieurs types de terrains, et les compare à des essais menés sur les mêmes sites, sur des micropieux type III. Les essais réalisés permettent de conclure d'une part que le comportement sous charge d'essais est tout à fait équivalent entre un micropieu type III et un micropieu ISU, et d'autre part que les frottements latéraux obtenus sont supérieurs à ceux des abaques de la NF P 94-262. De plus, il est expliqué en quoi la méthode de forage en Hi'Drill, et la méthode de mise en place de l'armature en autoforé contribuent à optimiser la réalisation du micropieu ISU. Ce procédé fait l'objet d'un cahier des charges particulier, conformément à l'article 9 du premier chapitre de la NF P94-262.

> **Mots clefs** : injection, micropieu



**SESSIONS
PARALLÈLES**

JEUDI 14 JUIN 2018

■ 10-1. Dimensionnement de 8 réservoirs GNL fondés sur inclusions rigides selon les recommandations ASIRI

Bernuy Charles¹, Frattini Nicolas¹, Cuira Fahd¹

1 - Terrasol (France)

Afin de sécuriser ses importations et ses exportations de Gaz Naturel Liquéfié, la Kuwait National Petroleum Company a lancé la construction d'un gigantesque terminal sur le site d'Al-Zour, au Koweït. Ce projet, qui doit s'achever en 2020, comprend la construction d'une usine de regazéification et de 8 réservoirs de stockage d'une capacité unitaire de 225 000 m³, implantés sur une plateforme entièrement gagnée sur la mer. Ces huit ouvrages de 96 m de diamètre et 45 m de haut doivent pouvoir encaisser de fortes accélérations sismiques avec une période de retour de 2475 ans. Pour ce type d'ouvrages, les systèmes de fondation usuellement mis en place sont soit des fondations superficielles, lorsque la qualité du sol est suffisamment bonne, soit des fondations profondes, lorsqu'au contraire les terrains « porteurs » sont situés en profondeur. Certains exemples de réservoirs sur colonnes ballastées ont également été recensés, mais cette solution visait surtout à réduire le risque de liquéfaction sous les réservoirs. Pour ce projet, il a été proposé de fonder les 8 réservoirs sur un sol renforcé par inclusions rigides, en utilisant les recommandations ASIRI pour le dimensionnement. L'avantage principal de cette solution est qu'elle assure une rigidité verticale importante, en réduisant et homogénéisant les déformations (tassements) sous les réservoirs, tout en limitant, via le matelas de répartition, l'amplitude des efforts statiques et sismiques transitant entre les inclusions et la structure du réservoir. Le dimensionnement de fondations sur inclusions rigides, de par la complexité des phénomènes mis en jeu (interaction sol-inclusion, répartition de la charge dans le sol et dans les inclusions, autorisation de déplacements irréversibles, etc...), fait souvent appel à des modélisations complexes de types éléments finis. Sur ce projet, les réservoirs sont chacun fondés sur 1128 inclusions rigides de 0.8m de diamètre. La modélisation dans un calcul 3D de toutes ces inclusions impliquant des temps de modélisation et de calcul beaucoup trop longs, des méthodes semi-analytiques ont donc été développées, dans les cas statiques et sismiques, afin de vérifier la stabilité de l'ouvrage, les tassements induits, et d'établir les impédances dynamiques nécessaires aux calculs d'interaction sol-structure.

> **Mots clefs** : ASIRI, réservoir, Inclusions rigides, impédance



■ 10-2. Valorisation d'un sol grossier par traitement à la chaux : Application aux problèmes d'érosion interne.

Elandaloussi Radja¹, Bennabi Abdelkrim², Dupla Jean Claude¹, Canou Jean¹, Benamar Ahmed³, Gotteland Philippe⁴

- 1 - Ecole des Ponts ParisTech, Navier/CERMES (France),
- 2 - Ecole Spéciale des Travaux Publics, du bâtiment et de l'industrie (ESTP) (France),
- 3 - Normandie Université, UNIVHAVRE, CNRS, LOMC (France),
- 4 - Fédération Nationale des Travaux Publics (France)

La présente étude s'inscrit dans le domaine de la valorisation des sols grossiers excavés généralement impropre à la construction d'ouvrages hydrauliques. Valoriser ces sols reviendrait à réduire la quantité de leurs stockage et à diminuer l'enveloppe financière du projet surtout si ces sols sont issus de zones proches du chantier. L'objectif visé de cette étude est de vérifier si le traitement à la chaux peut apporter des améliorations en termes de stabilité à l'érosion pour le cas d'un sol grossier existant. Ce travail a été réalisé en collaboration avec la Fédération Nationale des Travaux Publics. Les résultats obtenus sont intéressants pour les entreprises travaillant dans le domaine. Ce sol est constitué uniquement de 8% d'argile. Il a été traité à la chaux puis soumis à un ensemble d'essais. Une campagne d'essais d'érosion a été réalisée en mettant en évidence l'influence du dosage de chaux (1 et 3 %) et du temps de cure (1, 7, 28 et 90). A cette étude se greffe une étude microstructurale. Les résultats obtenus montrent qu'un faible pourcentage et un court temps de cure sont suffisants pour améliorer la tenue de ce sol face au problème d'érosion, alors que l'érosion est initiée à partir d'un gradient hydraulique de 3 pour un sol non traité, le sol traité ne montre aucune susceptibilité et se fracture à partir d'une valeur du gradient voisine de 5. L'étude microstructurale a permis de valider les certaines hypothèses émises dans la précédente partie sur l'origine des changements microstructuraux.

> **Mots clefs** : microstructure, érosion interne, traitement à la chaux, sols grossier

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

■ 10-3. Etude du renforcement géosynthétique de plateforme granulaire sur sol médiocre.

Briançon Laurent¹, Khoueiry Nicole¹, Abdelouhab Abdelkader², Daouadji Alii¹

- 1 - INSA de Lyon (France),
- 2 - Texinov (France)

Les géosynthétiques sont utilisés de plus en plus dans le domaine de Génie Civil pour remplacer les méthodes traditionnelles, et spécialement dans le domaine de géotechnique et environnement. Avec l'exploitation de nouvelles régions, la construction des ouvrages routiers sur des sols de faible portance devient une préoccupation forte des entreprises de construction. L'excavation et le remplacement de ces sols n'est pas une solution économique. Par contre, le renforcement par géosynthétique est une solution fréquemment utilisée pour ce type d'ouvrage. En effet, le renforcement des couches d'agrégats par géosynthétiques augmente leur rigidité ce qui permet de diminuer leur épaisseur. Dans la littérature, plusieurs auteurs ont proposé des méthodes de dimensionnement de ce type d'ouvrage en tenant compte du renforcement par géosynthétique. Mais, due à la complexité du phénomène d'interaction sol-géosynthétique et à la variété des paramètres qui influencent ce phénomène, le dimensionnement de ce type d'ouvrage reste une problématique de recherche. Afin d'améliorer les connaissances dans ce domaine et proposer une méthode de dimensionnement, un essai de laboratoire à échelle réelle est conçu et développé pour caractériser l'effet des géosynthétiques dans le renforcement des agrégats sur le sol de faible portance. Cet essai consiste mettre en place une couche de sol de faible portance et rajouter une couche d'agrégats renforcée par géosynthétique, l'ensemble étant ensuite soumis à un chargement roulant cyclique simulant l'effet du trafic. Les mesures effectuées sur cet essai, réalisé sur différentes configurations de renforcement, permettent de comparer l'influence de différents produits géosynthétiques et évaluer leur efficacité. Cet essai permettra de proposer un dimensionnement optimisé de ce type d'ouvrage renforcé. Enfin des précautions particulières seront prises pour mettre en place les différentes couches de sols dans les mêmes conditions que celles d'un ouvrage réel, l'endommagement à la mise en oeuvre pourra être évalué et pris en compte dans le dimensionnement. Ce travail de recherche est mené dans le cadre du LabCom PITAGOR (Plateforme d'Innovations Technologiques Appliquées aux Géosynthétiques des Ouvrages Renforcés), associant le laboratoire GEOMAS (ex SMS-ID) de l'INSA de Lyon et la société TEXINOV. Ce projet LabCom est financé par l'ANR sur une durée de trois ans.

> **Mots clefs** : essais labo, Géosynthétiques, sols médiocres

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

■ 10-4. Sécurisation d'un secteur d'une ancienne carrière souterraine par un géosynthétique de très haute résistance (1800kN/m)

Abdelouhab Abdelkader¹, Al Heib Marwan², Pinon Catherine²

1 - Texinov (France),

2 - Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (France)

La construction d'ouvrages de génie civil et l'aménagement urbain dans des zones sans difficultés géotechniques majeures est devenu de plus en plus difficile voire impossible. La présence de cavités est l'un des problèmes majeurs rencontrés dans la construction des routes et l'aménagement urbain. Différentes solutions, dites « traditionnelles », sont aujourd'hui mises en oeuvre pour limiter le risque que représentent ces cavités : comblement du vide par du remblai, mise en place de ponts en béton afin de traverser les zones des cavités, renforcement par piliers maçonnés, etc. Bien que ces méthodes offrent une solution durable dans le temps, elles présentent plusieurs inconvénients apport de matière important ; une forte émission de CO2 ; nécessité de localiser la cavité ; un coût de traitement très élevé. L'utilisation de solutions géosynthétiques dans les zones présentant des risques d'effondrement, permet de résoudre ces problématiques tout en garantissant la stabilité en surface à court et long termes. Cependant, la solution de renforcement par géosynthétique est actuellement utilisée essentiellement dans le cas de couverture de grande épaisseur et dans le cas d'un matériau d'apport foisonnant et de bonne qualité. Cette communication présente un cas de chantier où une solution géosynthétique a été utilisée pour sécuriser un espace vert aménagé au-dessus d'une ancienne carrière souterraine de craie. Cette carrière est située entre 14 et 20 m de profondeur et présente des galeries souterraines, en moyenne de 6 m de hauteur et de 3,5 m de largeur. Ce cas de figure est très intéressant car c'est l'un des rares projet où un géosynthétique de renforcement de plus 1800 kN/m est utilisé pour sécuriser la zone à risque d'effondrement. Les autres points particuliers de ce projet concernent la faible épaisseur de la couverture au-dessus du géosynthétique et la réutilisation des matériaux remaniés du site. Le dimensionnement du géosynthétique et le phasage des travaux ont nécessité la pris en compte d'hypothèses particulières.

> **Mots clefs :** *cavités, haute résistance à la traction, Renforcement géosynthétique, méthode de conception*

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

■ 10-5. ONERA : soufflerie de Modane - Avrieux. Renforcement de sol en milieu gypseux

Mazaré Bruno¹, Wagner Patrick², Brouillat Fargier Clément³, Voiron Jérémy⁴

1 - Egis Géotechnique (France),

2 - ONERA (France),

3 - SPIE Fondations (France),

4 - TERRASOL (France)

La soufflerie de Modane Avrieux est un important ouvrage industriel en béton armé et métal construit au début des années 1950 dans la vallée de l'Arc en Savoie (73). Elle repose sur un substratum Triasique constitués de gypse et cargneules surmontée par une épaisse couche d'alluvions fluvio glaciaires baignée par la nappe d'accompagnement de l'Arc. Des tassements ont été constatés peu après sa construction. Ceux-ci devenant préjudiciables à l'exploitation, l'ONERA a lancé en 2010 un dialogue compétitif. Des reconnaissances poussées ont été entreprises (sondages mécaniques, géophysiques, essais mécaniques et hydrologiques) pour fiabiliser le diagnostic. La formation de gypse et cargneules s'est avérée très décomprimée jusqu'à plus de 50 m de profondeur, engendrant la décompression des alluvions fluvioglaciaires sur lesquels est fondé l'ouvrage. Au terme du dialogue compétitif, une solution d'injections du gypse et des cargneules associée à des colonnes de transfert de charges en jet grouting a été retenue. Cette solution a été fiabilisée en phase étude d'exécution par une modélisation numérique poussée. Un accent particulier a été mis sur le respect de l'environnement. Les travaux sont largement engagés. Ils sont associés à un important dispositif de surveillance des tassements en temps réel. L'article relate les phases diagnostic, conception, dimensionnement et mise en oeuvre des travaux confortatifs de ce chantier atypique (plots d'essais notamment). On soulignera la particularité de la procédure dite de dialogue compétitif, bien adaptée à ce type de problématique géotechnique complexe. On soulignera également la bonne synergie entre le maitre d'ouvrage, son AMO, l'entreprise et son bureau d'étude, pour adapter les procédures travaux au comportement réel du terrain, adaptations permettant d'atteindre les objectifs de maitrise des tassements, finalité de ces travaux.

> **Mots clefs :** *jet grouting, injection, tassement, modélisation, cargneules, gypse, sol, renforcement, environnement*

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

■ 11-1. Estimation des échanges thermiques à long terme d'une géostructure thermique

Delerablee Yvon¹, Burlon Sébastien², Reiffsteck Philippe², Antoinet Eric¹

1 - Antea Group (France),

2 - IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (France)

Les géostructures thermiques représentent un moyen efficace de subvenir aux besoins en chauffage et en climatisation de différents types d'ouvrages. Elles comprennent principalement les ouvrages géotechniques de type radier, pieux, parois moulées et tunnels souterrains. Lors de la conception de tels ouvrages, deux aspects doivent être vérifiés : la sécurité géotechnique en prenant en compte les sollicitations thermiques et les échanges thermiques entre l'ouvrage et le terrain en assurant leur pérennité. Les aspects mécaniques sont déjà traités par de nombreux auteurs et des méthodes de justification compatibles avec l'Eurocode 7 ont été développées. Concernant l'aspect thermique, deux échelles d'étude sont envisageables : l'échelle du tube échangeur de chaleur associée aux variations de la température du fluide caloporteur et l'échelle de l'ouvrage associée aux variations de température dans le terrain représentant le réservoir énergétique. Ces deux échelles ne peuvent être étudiées simultanément. Ainsi cette étude va se porter sur l'échelle de l'ouvrage dans lequel l'aspect thermique souffre de certaines lacunes, notamment vis-à-vis de la prise en compte des effets 3D et de l'impact des avoisinants. La prise en compte de l'écoulement d'une nappe fait partie des problématiques à résoudre. Ainsi, une méthode d'estimation des échanges thermiques basée sur l'analyse des flux thermiques par conduction et par advection a été développé. Elle permet de prendre en compte les aspects thermiques liés à un écoulement, à la variation de température de l'air extérieur et d'étudier l'influence de la forme de la sollicitation thermique appliquée à l'ouvrage. Les résultats permettent de mettre en évidence les zones critiques où les variations thermiques sont les plus intenses et de s'assurer qu'aucune dérive thermique à long terme n'a lieu. Au final, ces éléments donnent des clés pour améliorer le dimensionnement thermique de ces ouvrages.

> **Mots clefs** : *équilibre thermique, conception, flux de chaleur, géostructures thermiques*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 11-2. Modélisation du pénétromètre statique (CPT) en condition saturée : un modèle numérique discret avec couplage fluide-solide.

Hosseini Sadrabadi Hamid^{1,2}, Chareyre Bruno¹, Sibille Luc¹, Riegel Pierre²

1 - Laboratoire sols, solides, structures - risques [Grenoble] (France),

2 - Equaterre (France)

Le Pénétromètre statique est utilisé pour la reconnaissance in-situ des couches de sol en sub-surface. Des versions avancées du CPT telles que le piézocone (CPTU) [1] existent, elles permettent d'évaluer la sensibilité à la liquéfaction des sols. Les mesures réalisées le plus couramment restent la résistance de pointe Q_c et le frottement F_s . Le projet de recherche dans lequel s'inscrivent ces travaux vise à améliorer la méthode d'interprétation des mesures CPT pour la reconnaissance des sols liquéfiables. Dans cette optique nous présentons une approche numérique de l'enfoncement d'une pointe dans un sol saturé. Le modèle est basé sur un couplage entre la méthode des éléments discrets (DEM) pour la phase solide et une méthode de volumes finis définis à l'échelle des pores (méthode PFV) [2] pour l'écoulement interstitiel. Outre des informations directement liées à l'essai de pénétration, telle que la résistance de pointe Q_c , ce modèle donne accès aux champs de contrainte, de déplacements, de pression interstitielle, et de vitesse fluide au sein du massif de sol. Grâce à l'emploi conjoint des méthodes DEM et PFV l'ensemble de ces champs sont accessibles tout aussi bien en cas de remaniement important du sol (par exemple au voisinage de la pointe) qu'en phases transitoires (lors de l'arrêt ou de la reprise de la pénétration par exemple) ou encore lors de sollicitations cycliques (si la pointe est par exemple vibrée). Les bénéfices d'un tel modèle hydromécanique sont finalement discutés par rapport à un modèle en condition sec (i.e. où seule la phase solide est prise en compte).

Références :

[1] Robertson, P. K., & Wride, C. E. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, 35(3), 442-459.

[2] Catalano, E., Chareyre, B., & Barthélemy, E. (2014). Pore-scale modeling of fluid-particles interaction and emerging poromechanical effects. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 38(1), 51-71.

> **Mots clefs** : *couplage fluide, CPT, méthode éléments discrets (DEM), pénétromètre statique, solide.*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 11-3. Importance des phénomènes hydrauliques dans la conception et la réalisation des fouilles profondes

Hamblin Roxanne¹, Demay Bruno¹

1 - Antea Group (France)

Importance des phénomènes hydrauliques dans la conception et la réalisation des fouilles profondes. DEMAY, R. HAMBLIN Antea Group, Antony, 92160, France bruno.demay@antea-group.com, roxanne.hamblin@anteagroup.com. Résumé La réalisation d'un ouvrage enterré comme une station de métro, à partir d'une fouille profonde avec soutènements, implique de nombreuses contraintes qui doivent être maîtrisées dès la conception afin d'assurer la pérennité de l'ouvrage depuis la phase travaux jusqu'à sa mise en service. Parmi ces contraintes, la maîtrise des phénomènes hydrauliques est essentielle. En phase travaux, des dispositifs d'évacuation des eaux en fond de fouille tels que des puisards, des puits de pompage, ou des drains assurent le dénoyage des terrains. Mais une excavation profonde sous nappe peut modifier profondément la répartition du potentiel hydraulique autour de la fouille et générer de forts gradients hydrauliques entre l'intérieur et l'extérieur de la fouille, source de phénomènes d'instabilité du fond de fouille sous toutes ses formes. Ces phénomènes sont anticipés en phase de conception de l'ouvrage et des solutions telles que les fonds de fouille ou jupes injectées sont souvent proposées. Mais ces solutions, si elles sont mal étudiées, peuvent avoir un effet très défavorable et augmenter les gradients hydrauliques entre l'extérieur et l'intérieur de la fouille à des profondeurs importantes, où l'étanchéité du soutènement est souvent difficilement réalisable lors de l'exécution. De même, la combinaison de plusieurs mesures peut au final être contre-productive car non sécuritaire. L'objectif de cette communication est d'illustrer ces concepts via une analyse globale par la méthode aux éléments finis en couplant les traditionnels calculs mécaniques (déplacements, efforts dans la structure, coefficients de sécurité) avec des calculs hydrauliques basés sur la perméabilité des terrains et les caractéristiques des écoulements liés aux variations de potentiel hydraulique induits par l'excavation. Ce type d'approche incluant des calculs couplés écoulement / mécanique vise, par des analyses de sensibilité paramétrées, à aider dans les choix de conception et à orienter au mieux les reconnaissances géotechniques, afin d'anticiper et maîtriser au mieux les risques liés aux phénomènes hydrauliques en fouille profonde.

> **Mots clefs** : écoulement, géotechnique, perméabilité, hydraulique

■ 11-4. Modélisation d'une ancienne mine de lignite sous AutoCad Map 3D : Exemple de Gardanne (Sud de la France)

Roger Gilbert¹

1 - Bureau de recherches géologiques et minières (France)

Pour identifier et comprendre les conséquences que peuvent avoir les anciennes mines abandonnées, il est nécessaire au préalable d'avoir une représentation des travaux miniers et donc de savoir lire les anciens plans de mine. Ce savoir-faire se perdant, une représentation graphique simple et compréhensible devient nécessaire. Pour cela, et à titre de prototype, la mine de lignite de Gardanne a été entièrement modélisée en trois dimensions sous AutoCAD Map 3D à partir de plusieurs centaines de supports papier hérités de Charbonnages de France (plans d'exploitation, coupes géologiques, coupes de puits, galeries, infrastructure, logs de sondages). Un inventaire préalable a permis de choisir les documents pertinents à numériser. Par ailleurs, la modélisation des formations géologiques régionale réalisée avec GeoModeler a été exporté vers AutoCad. Les objets ayant des dimensions très différentes, le modèle géologique a été réduit aux objets géologiques les plus pertinents dans une échelle spatiale compatible avec la mine. La mine de Gardanne, comme beaucoup de mines françaises n'est plus accessible physiquement. Le modèle réalisé permet une navigation virtuelle dans cette mine. Grâce à cette représentation, il devient aisé de suivre l'ennoyage de la mine, d'évaluer les risques de résurgences franches ou diffuses, ou par exemple d'identifier les galeries drainantes sur un projet de géothermie demandé par la ville de Gardanne. Ce modèle 3D fournit également un support de choix pour la compréhension et le suivi des événements sismiques liés à la réorganisation des vides miniers. Plus généralement, la modélisation 3D des travaux miniers à partir des anciens plans, complétée éventuellement par d'autres sources d'informations (levés géomètre, lidar, auscultation video laser...), est un élément de plus en plus incontournable dans la gestion des risques liés aux anciens sites miniers, que ce soit dans la compréhension des phénomènes (établissement de modèles d'ennoyage, évaluation des risques géotechniques, gestion des émissions de gaz de mine...) ou dans les travaux de mise en sécurité. Enfin, au-delà de la gestion des risques miniers résiduels, la modélisation 3D peut être un support pour la valorisation de vides miniers dans des projets de géothermie ou de récupération de gaz de mine.

> **Mots clefs** : Mine de Gardanne, AutoCad_Map_3D, Modèle_3D

■ 11-5. Exploitation du signal au pénétromètre dynamique pour l'aide à l'obtention d'un modèle de terrain

Sastre Jurado Carlos^{1,2}, Breul Pierre¹, Bacconnet Claude¹, Benz Navarrete Miguel Angel², Gourvès Roland²

1 - Institut Pascal UMR CNRS 6602, Polytech Clermont Ferrand, Université Clermont Auvergne (France),
2 - Sol Solution (France)

En accord avec les développements technologiques suivis dans les domaines de l'informatique (data mining, BDD, machine learning...) et de la simulation numérique, la modélisation spatiale des propriétés de terrain, devient une nécessité importante pour les différents acteurs du secteur : donneurs d'ordre, gestionnaires d'ouvrages, bureaux d'études... La plupart souhaitent aujourd'hui pouvoir disposer non seulement d'une information précise, rapide et fiable en un point donné du terrain ou de l'ouvrage, mais aussi connaître avec le moins d'incertitude possible la variabilité spatiale de celle-ci. Par ailleurs, le BIM (Building Information Modeling) et/ou la modélisation 3D sont au cœur des processus de conception, de construction et d'exploitation des ouvrages. Dans cet article on présente une méthodologie pour la modélisation probabiliste 3D des propriétés géotechniques des sols de surface. Elle s'appuie sur un essai simple, rapide et peu coûteux, mais ayant une résolution, une fréquence d'échantillonnage et un rendement spatial dans la réalisation des sondages très élevés (favorisant cette approche), à savoir: le pénétromètre dynamique Panda[®]. Cette méthode intègre une démarche graduée et progressive : réalisation de sondages in-situ en des points aléatoirement définis ; interprétation automatique des sondages afin d'identifier la nature et l'état du sol traversé, en passant par des analyses morphologiques du signal pénétrométrique permettant d'identifier automatiquement la stratigraphie du sol et les limites des couches; pour finalement spatialiser cette information et la modéliser de façon probabiliste. Cette méthode s'appuie sur l'application de différentes techniques : développement d'un réseaux de neurones, mise au point de méthodes de découpage statistiques pour l'analyse du signal pénétrométrique (t-ratio, barlett test...), application d'algorithmes permettant d'évaluer l'homogénéité verticale & horizontale des sondages et application des techniques de simulation et krigeage ... Afin de valider cette méthode, deux terrains présentant des caractéristiques de sols différentes ont été étudiés. Sur chaque site, une quantité importante de sondages ont été réalisés. Les résultats obtenus permettent non seulement de mettre en évidence la pertinence de la méthodologie proposée, mais aussi d'évaluer l'influence d'un certain nombre de paramètres et d'obtenir un modèle 3D probabiliste du terrain.

> **Mots clefs** : Krigeage, Barlett, Ratio, T, Découpage, Réseaux de neurones, Spatialisation, Simulation, Modélisation, Panda, situ, Pénétromètre, Essais in, Modèle géotechnique

■ 12-1. Etude paramétrique et multi échelle de la sensibilité des sols à la suffusion

Marot Didier¹, Bendahmane Fateh¹, Gelet Rachel¹, Le Van Thao¹, Zhang Lingran¹, Zhong Chuheng¹

1 - Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique, Nantes (France)

La surverse et l'érosion interne apparaissent comme les deux principales causes de la rupture des barrages et digues en remblais. Quatre processus d'érosion interne peuvent être distingués : l'érosion de conduit, l'érosion régressive, l'érosion de contact et la suffusion. Cette étude porte sur la suffusion qui mobilise la fraction fine du sol. Ce phénomène complexe apparaît comme la combinaison de trois processus : détachement, transport et possible filtration de la fraction fine. Ce phénomène peut induire une modification de la distribution granulométrique, de la porosité et de la conductivité hydraulique du matériau. Avec l'objectif de caractériser la sensibilité à la suffusion de sols non cohésifs, des essais sous écoulement verticaux et horizontaux ont été réalisés à l'aide de différents appareillages. Cette étude met en évidence l'influence significative sur le développement de la suffusion, de la longueur de l'écoulement, de l'historique de chargement hydraulique et de la direction de l'écoulement. La nouvelle analyse proposée consiste à modéliser le chargement hydraulique par l'énergie dissipée par l'écoulement et la réponse du sol par la masse sèche érodée cumulée. Cette approche permet de prendre en compte l'influence de l'ensemble des paramètres susmentionnés. Une étude statistique a par ailleurs été réalisée afin d'estimer la sensibilité des sols à la suffusion en fonction de paramètres physiques aisément mesurables. La sensibilité à la suffusion a ainsi pu être estimée à l'échelle du noyau d'un barrage hydraulique zoné. Enfin la comparaison de cette cartographie de sensibilité avec la répartition spatiale du chargement hydraulique permet d'identifier les zones de l'ouvrage les plus sensibles à la suffusion.

> **Mots clefs** : analyse statistique, ouvrage hydraulique en terre, suffusion, érosion interne, énergie

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 12-2. Quels essais de laboratoire pour évaluer la durabilité des matériaux de digues ?

Boussafir Yasmina¹, De Baecque Margot¹**1 - IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (France)**

La gestion du risque inondation passe par le diagnostic puis si nécessaire, le renforcement des digues existantes. L'analyse des ouvrages nécessite l'utilisation de matériaux adaptés pour garantir la durabilité de l'ouvrage. La durabilité des sols naturels compactés, des sols traités à la chaux, et des sols traités au ciment par la technique du soil-mixing est explorée dans cet article. L'article présente et discute des essais de laboratoire permettant de dégager des lois de dégradation des géomatériaux en fonction de leur état initial, de la nature des sollicitations auxquelles ils sont soumis, et du temps (même si le temps d'expérimentation est très court comparé à la durée de vie d'un ouvrage). La comparaison entre les caractéristiques au laboratoire et in situ doit à terme apporter des réponses sur ce point. Pour étudier leur durabilité en laboratoire et raccourcir les temps d'expérimentation, il est nécessaire d'accélérer le vieillissement des géomatériaux en appliquant des sollicitations notamment des cycles hydriques (de type humidification/séchage). Ces cycles doivent reproduire les environnements auxquels sont soumis les matériaux au cours de leur vie. L'évolution des propriétés des matériaux est alors observée aux cours de ce vieillissement. Force est de constater que de nombreux protocoles existent. Ces protocoles seront discutés dans le cadre d'une application aux digues. Toutes les digues sont en effet soumises à des variations hydriques (environnement météorologique), des variations hydrogéologique (nappe) et hydrauliques (crues).. Les conditions des cycles à imposer en laboratoire doivent être déduites des environnements spécifiques des sites et les paramètres suivis dépendent du matériau étudié et de ses fonctions dans l'ouvrage. Pour les digues maritimes par exemple, l'étude se focalise sur l'impact de l'eau de mer vis-à-vis de la stabilité chimique et structurale du matériau et de sa résistance à l'érosion. Pour le soil-mixing, l'étude porte sur l'influence des cycles de saturation/désaturation et de lessivage par flux d'eau sur la porosité et les propriétés de perméabilité du matériau. Enfin, pour les sols naturels compactés, l'étude porte sur l'influence des cycles hydriques sur la perméabilité.

> **Mots clefs** : cycles hydriques, durabilité, digue, soil mixing, sols traités, sols, porosité, perméabilité, érosion

■ 12-3. Durabilité d'un sol traité à la chaux en environnement maritime : méthodologie de l'étude

De Baecque Margot¹, Chevalier Christophe¹, Le Foeuvre Mathieu¹, Palma Lopes Sérgio¹, Reiffsteck Philippe¹**1 - IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (France)**

La tempête Xyntia en 2010 a été révélatrice du travail qu'il reste à faire pour améliorer la fiabilité des ouvrages de protection contre les submersions marines. Dans ce contexte, le projet Digue 2020 vise à étudier la faisabilité de l'utilisation des sols fins traités à la chaux pour construire ou renforcer des digues maritimes. La chaux est déjà largement utilisée dans le domaine du terrassement pour améliorer la maniabilité en chantier et la résistance mécanique au long terme. En revanche son utilisation dans les ouvrages hydrauliques reste très limitée dans le monde en raison du manque de retour d'expérience sur la durabilité du matériau sol-chaux dans ce type d'ouvrage. Le projet Digue 2020 permettra la construction d'une plate-forme expérimentale en sol traité à la chaux, exposée aux sollicitations marines. On s'intéresse ici à la caractérisation au laboratoire de la durabilité du matériau sol-chaux. Cet article présente la méthodologie détaillée de l'étude ainsi que des premiers résultats. Le matériau est préparé pour partie dans des conditions se rapprochant des conditions de mise en place dans l'ouvrage expérimental. D'autres échantillons sont préparés en modifiant le dosage en chaux, la densité et la teneur en eau initiale pour comprendre les effets de cette variabilité sur la durabilité du matériau. La caractérisation du matériau s'articule autour de trois axes: la résistance à l'érosion (première cause de rupture des ouvrages en terre), les modifications physico-chimiques du matériau en lien avec l'évolution des propriétés mécaniques, et le suivi des propriétés du matériau dans ses différents états par des méthodes géophysiques. Les échantillons de sol traité à la chaux sont soumis à des cycles de séchage puis humidification à l'eau de mer cherchant à reproduire, en accéléré, les sollicitations climatiques sur l'ouvrage. Les essais correspondants aux trois axes d'étude sont réalisés sur les échantillons pour un nombre de cycle d'exposition croissant.

> **Mots clefs** : géophysique, digue, érosion, traitement à la chaux, durabilité

■ **12-6. Etude du comportement mécanique d'un sédiment de barrage en technique routière**

Serbah Boumediene^{1,2}, Bourabah Maghnia Asmahane²,
Bouchemella Salima^{1,3}, Eid Joanna¹, Abou-Bekr Nabil², Taibi Said¹

1 - Laboratoire Ondes et milieux complexes UMR CNRS 6294, Université Le Havre Normandie, France (France),

2 - Laboratoire Eau et Ouvrages dans Leur Environnement, Université de Tlemcen, Algérie. (Algérie),

3 - Laboratoire INFRARES, Université de Souk Ahras, Algérie (Algérie)

Le dragage des barrages de l'ouest algérien est une activité nécessaire pour prolonger la durée vie de ces ouvrages, leur exploitation dans l'irrigation et l'approvisionnement en eau potable. Le sédiment de dragage serait une nouvelle source de matériel pour la construction des routes. Le but de ce travail consiste, dans un premier temps à l'identification physico-chimique et mécanique des sédiments de dragage du barrage Bakhadda. C'est une étape nécessaire avant toute tentative de valorisation de ce matériau comme constituant des chaussées. La deuxième étape est basée sur la démarche de valorisation envisagée, s'appuie sur des choix de préparation et des formulations simples, Afin de permettre un emploi efficace des sédiments dans une structure de chaussée. Nous montrons dans cette étude l'influence de l'ajout de liants hydrauliques et aériens (ciment, chaux), sur les caractéristiques mécaniques de ces sédiments de dragage (Rc, Rt, Rtb et E), pour la réalisation des couches de chaussées conformément aux recommandations des guides Techniques GTS et GTR (LCPC-SETRA, 2000).

> **Mots clefs** : technique routière., comportement mécanique, liants hydrauliques, Sédiment

■ **13-1. Puits et galerie d'essais Calmette - Ligne 11 aux Lilas (France) : auscultations et essais géotechniques de qualification de l'efficacité du jet grouting et du boulonnage de front dans les Argiles Vertes**

Stutzel Benedikt¹, Curtil Stéphane¹, Coppalle Cyril²

1 - GEOS Ingénieurs Conseils (France),

2 - Keller Fondations Spéciales (France)

Le puits et la galerie d'essais géotechnique Calmette ont été creusés en méthode traditionnelle dans le cadre des travaux préparatoires au prolongement de la ligne 11 de métro de Paris vers Rosny-Bois-Perrier. Ces premiers ouvrages définitifs construits pour le prolongement de la ligne 11 ont une triple fonction : (1) avant le chantier de prolongement de la ligne 11, ils constituent un laboratoire d'essai in-situ pour des mesures géotechniques et essais de travaux spéciaux dans les Argiles Vertes et les Marnes de Pantin ; (2) pendant le chantier de prolongement de la ligne 11, ils servent d'ouvrage d'accès et (3) en service, ils servent d'ouvrage de ventilation du métro. La construction de manière anticipée de l'ouvrage Calmette a pour objectif de permettre : l'étude de l'efficacité de la technique de jet-grouting et l'analyse de l'efficacité du clouage du front avec des boulons en fibre de verre dans les Argiles Vertes de manière à optimiser ensuite les dimensionnements des ouvrages principaux du prolongement de la ligne 11. Une auscultation géotechnique et topographique exhaustive a été mise en place afin de surveiller les déformations du terrain, du puits, d'un diamètre de 9 m et d'une profondeur de 18 m, et de la galerie, d'un diamètre de 8 m et d'une longueur de 17 m : topographie en continu en surface et en souterrain, inclinomètres, extensomètres, extrusomètre, jauges de contraintes et profils de convergence. Pour analyser la performance de la technique du jet-grouting dans les Argiles Vertes (argiles plastiques) et les Marnes de Pantin, un plot d'essai comprenant 6 colonnes a été réalisé. L'objectif était de tester les différentes techniques de jet-grouting : double avec pré-découpage et triple en faisant varier les paramètres de jetting. Une série d'essais in-situ et en laboratoire ont permis de caractériser la résistance à la compression et les modules de déformations des colonnes de jet. Avant le creusement de la demi-section supérieure, le front de taille de la galerie a été renforcé de 28 boulons d'une longueur de 25 m environ, réalisé en un seul tir, afin de renforcer la stabilité du front pendant le terrassement et limiter les tassements induits en surface.

> **Mots clefs** : Jet grouting, argiles plastiques, Auscultations, boulon en fibre de verre

■ 13-2. Retour d'expérience sur la détermination de la profondeur d'ancrage de pieux bois par méthode géophysique

Ferreira Matthias¹, Schoumacker Guillaume¹, Moinard Julien²

1 - Hydrogéotechnique (France),

2 - Ingénieur Géophysicien (France)

Il est fréquent dans notre métier de travailler sur des ouvrages portuaires anciens fondés sur pieux bois. Les plans d'archives nous amènent toujours à nous interroger sur la véracité des cotes d'ancrage des éléments de fondations. Nous avons eu l'occasion de mener un plot expérimental sur un quai Danois au Havre fondé sur pieux bois. L'étude historique des pieux bois montre que ceux-ci sont équipés d'un sabot métallique en pied pour faciliter le battage. Nous avons donc réalisé des forages dans l'environnement proche des pieux, équipés en tubage PVC de manière à pouvoir réaliser une diagraphie au magnétomètre. L'objectif est donc de détecter l'anomalie magnétique que va produire le sabot métallique de manière à pouvoir conclure sur la cote d'ancrage des pieux. Huit diagraphies ont été réalisées dans un même secteur pour juger de la pertinence de cette méthode. Nous proposons ici de partager ce retour d'expérience en décrivant la technique utilisée, les difficultés sur le terrain (mise en place des tubes) et les limites de la méthode.

> **Mots clefs** : auscultation, diagraphie magnétique, quai danois, Pieux bois, ancrage

■ 13-3. La polarisation provoquée pour le suivi des écrans étanches : une première approche

Kaouane Carole¹, Saussaye Lucile², Fargier Yannick², Palma-Lopes Sergio³

1 - Cerema, Rouen (France),

2 - Cerema, Blois (France),

3 - IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (France)

Les techniques d'amélioration des sols impropres à la construction avec des liants hydrauliques tels que le deep-soil mixing sont écologiquement et économiquement pertinentes. Leur application aux ouvrages hydraulique en terre est récente et prometteuse. Toutefois, il n'existe pas actuellement de méthode non destructive de monitoring permettant d'évaluer la stabilité et durabilité des ouvrages traités. La Polarisation Provoquée (PP) spectrale ou temporelle est une méthode qui a connu des avancées ces dernières années, entre autres pour accéder aux propriétés du milieu telles que la perméabilité hydraulique et la distribution de la taille des pores. Néanmoins, de nombreux facteurs sont à prendre en compte pour la mise en place sur le terrain afin d'obtenir pour obtenir un signal exploitable, ce qui en fait une technique encore peu utilisée en ingénierie. Notamment, il faut prêter une attention spécifique à la disposition géométrique des électrodes, l'intensité de courant injecté et la fenêtre de mesure (domaine temporel) ou la bande de fréquence (domaine fréquentiel). Des compromis doivent régulièrement être faits en fonction des contraintes d'espace et de temps. Cette étude porte sur le suivi sur 30 jours d'un mélange constitué de limon A2 (norme NF P 11-300) mixé avec 11% (teneur massique) de ciment CEM III/C 32,5 N par la méthode de PP en domaine temporel. Le mélange a été mis en oeuvre dans une tranchée de 1,4*0,7*0,5 m³ réalisée sur une digue expérimentale composée du limon A2 compacté à 96% de sa masse volumique apparente sèche maximale à l'optimum Proctor normal. On présente (1) les choix réalisés pour le design du suivi par PP du durcissement du matériau traité dans des conditions proches de conditions réelles, (2) une analyse de la qualité des mesures sur le milieu naturel et (3) la comparaison entre les mesures prises sur milieu naturel et celles sur le matériau en cours de durcissement. Malgré des conditions climatiques difficiles (fortes intempéries/gel-dégel) et des phénomènes de retrait ayant impacté le contact avec le limon, les mesures sur le matériau naturel sont stables sur toute la durée suivie, validant la qualité du montage. Des perspectives d'amélioration du protocole sont proposées.

> **Mots clefs** : méthodologie, ciment, écran étanches, sol, Polarisation Provoquée

■ 13-4. Utilisation des paramètres de forage pour un positionnement judicieux de la sonde pressiométrique dans le terrain et une interprétation éclairée des résultats

Cour Francis¹, Lopes Alexandre²

- 1 - Calyf (France),
- 2 - Fugro Géoconsulting (France)

L’enregistrement des paramètres de forage est une pratique usuelle lors de la réalisation des forages pressiométriques en France. Cet enregistrement demeure cependant, faute de recommandations, peu ou mal utilisé pour la poursuite des opérations sur site. Cette communication présente une réflexion sur l’utilisation des paramètres de forage comme outil d’aide à la décision pour le placement de la sonde pressiométrique dans le terrain avant la réalisation de l’essai. Elle montre comment un positionnement contrôlé de la sonde permet d’améliorer la qualité de l’essai, sa représentativité dans le profil de sol et la qualité de l’interprétation géotechnique. Le traitement numérique des données enregistrées lors du forage et leur présentation à une échelle adaptée à l’emprise de l’essai se sont montrés utiles pour placer adéquatement la sonde, notamment dans des formations géologiques fortement hétérogènes telles que les Calcaires Grossiers ou les Marnes et Caillasses. Positionner entièrement la sonde sur des niveaux homogènes à l’échelle de la sonde permet notamment (1) de limiter considérablement les risques d’éclatement résultant de déformations longitudinales différentielles, (2) de s’assurer que le gonflement de la sonde est cylindrique sur la longueur de l’essai et donc que la relation volume injecté - déformation radiale est pertinente et (3) de relier les paramètres pressiométriques à une nature de sol précise, celle-ci pouvant être mécaniquement caractérisée par des essais de laboratoire adjacents. La discussion est menée à partir de cas réels dans les sols et roches tendres de la Région Parisienne. A la lumière des considérations exposées, il pourrait s’avérer judicieux de poursuivre une réflexion sur la pertinence de rédaction des appels d’offres imposant des essais avec des espacements fixes.

> **Mots clefs** : *situ, essai pressiométrique, essai in, Paramètres de forage*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 13-5. Mesure de modules de cisaillement à faibles déformations à partir d’une sonde pressiométrique monocellulaire

Lopes Alexandre¹, Puech Alain¹, Droniuc Nicolai¹, Geisler Jean¹, Cour Francis²

- 1 - Fugro Géoconsulting (France),
- 2 - Calyf (France)

La sonde Monochambre Francis Cour® offre la possibilité de réaliser des essais d’expansion de cavité cylindrique dans les sols depuis le domaine des faibles déformations, traditionnellement réservé aux sondes dilatométriques, jusqu’à celui des grandes déformations pressiométriques, en permettant d’atteindre la pression limite conventionnelle définie au doublement du volume de la cavité initiale (ou plus rigoureusement pour une expansion radiale de 1.41 Ro). Les caractéristiques essentielles de la sonde seront rappelées. Pour une description détaillée on se reportera à la communication parallèle de Cour et Lopes. La communication sera axée sur la mesure des modules de cisaillement dans la gamme de déformations de $10^{-4} < DR/R < 10^{-2}$ et sera illustrée par des exemples obtenus sur des formations de la Région Parisienne (Sables Supérieurs, Argiles Plastiques, Calcaires Grossiers). On s’intéressera notamment à la procédure de mesure basée sur la réalisation de quelques cycles réalisés à différents niveaux de contraintes. La précision des mesures sera discutée. On comparera ensuite les résultats sous forme de courbe $G = f(g)$ avec les expressions proposées dans la littérature (e.g. Massarsch, 2004) et avec les mesures de G_0 (ou G_{max}) effectuées sur des carottes prélevées dans les mêmes formations dans des sondages adjacents. On proposera des voies pour l’interprétation des résultats, selon que l’essai est réalisé en conditions drainées ou non drainées et on montrera l’intérêt qu’il y aurait à disposer d’une mesure de génération de la pression interstitielle en cours de cisaillement. Le potentiel de la sonde pour réaliser des essais à grand nombre de cycles, étape ultime du développement, sera évoqué.

> **Mots clefs** : *module de cisaillement, essai dilatométrique, essai pressiométrique, situ, sonde monochambre, Essai in*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 14-3. Influence des granulats basaltiques 0/5 sur les propriétés géotechniques des sols fins latéritiques de Bafang (Ouest-Cameroun) en vue de leur valorisation en technique routière

Tchungouelieu Hyoumbi William¹⁻², Pizette Patrick¹, Ludovic Wouatong², Abriak Nor Edine¹, Borrel Louis Robert³, Razafimahatratra Norotiana Francine³, Guiouillier Thomas³, Ngapgue François⁴

- 1 - IMT Lille Douai, Univ. Lille, EA 4515 - Laboratoire de Génie Civil et géoEnvironnement, (France),
- 2 - Laboratory of Environmental Geology (Cameroun),
- 3 - Razel-Bec Fayat (France),
- 4 - Fotso Victor Institute of Technology (Cameroun)

Les sols graveleux latéritiques sont les matériaux les plus utilisés pour réaliser les couches de fondation des chaussées souples dans la zone intertropicale en général et dans la zone de Bafang (Ouest-Cameroun) en particulier. Leurs utilisations en technique routière sont dues à leurs propriétés géotechniques acceptables en général et à leurs bonnes capacités portantes en particulier. Cependant, le manque des gisements de sols graveleux latéritiques le long des tracés des routes en construction ou dans leurs environs (distance inférieure à 15 km du tracé) dans la localité de Bafang, entraîne l'utilisation des sols fins latéritiques pour remblai comme matériaux de couche fondation des chaussées souples. Ainsi, les caractérisations géochimique et géotechnique de sols fins latéritiques pour remblai mélangés à 20% ; 30% ; 40% et 50% de granulats basaltiques 0/5 ont été réalisées. La géochimie révèle que les rapports Silice/Sesquioxyde sont inférieurs à 2 ($S/R < 2$) dans les sols fins latéritiques que dans les différents matériaux mélangés. Concernant les propriétés géotechniques, il en ressort que les ajouts de ces granulats sur les sols fins latéritiques ont un effet positif sur les propriétés géotechniques de ces sols car les taux de particules fines, les valeurs de limites de liquidité, des indices de plasticité, de bleu de méthylène et de teneurs en eau optimale régressent. Malgré ce traitement des sols fins latéritiques aux granulats basaltiques 0/5, ces matériaux sont toujours dénommés sols fins selon le GTR et le HRB. En revanche, les valeurs de densité sèche optimale et de capacité portante augmentent avec les ajouts des granulats basaltiques. À partir de 30% d'addition de granulats 0/5, les valeurs de capacité portante atteignent les valeurs recommandées pour les matériaux de couche de fondation.

> **Mots clefs** : Bafang, traitement physique, construction routière, sol fin latéritique, granulats basaltique 0/5, Cameroun

■ 14-4. Travaux d'extension de Port Est - Phase 2

Desprez Sophie¹, Peronnard Christophe¹, Duvaut Daniel²

- 1 - ARTELIA Eau & Environnement (France),
- 2 - Grand Port Maritime de la Réunion (Réunion)

Le projet d'extension de Port Est - Phase 2 à la Réunion a consisté en l'allongement du linéaire de quai accostable de 160 m et l'approfondissement de 2 m (de -12,5 à -14,5 m) de la darse dans le but d'accueillir simultanément 2 navires porte-conteneurs de 300 m. La prestation d'Artelia Eau & Environnement est une mission complète de Maître d'oeuvre : conception (2008 - 2014) et réalisation (2014 - 20016) L'allongement du quai de 160 m a été réalisé par une paroi moulée (ancrée à -22 m, 1 m d'épaisseur, tirants de 22,5m de long), coiffée d'une poutre de couronnement ayant pour rôle de reprendre les efforts d'accostage, d'amarrage et du portique à conteneurs. L'approfondissement de 2 m de la darse a été réalisé avec une drague mécanique (pelle sur ponton), totalisant un volume de 220 000 m³. Devant la paroi moulée, un volume de 420 000 m³ a été excavé pour créer l'extension de la darse, dont 200 000 m³ par dragage mécanique. Le quai en blocs existant de 515 m de long a été rempli par un rideau de colonnes sécantes de jet grouting de 4 m de longueur pour éviter le déchaussement du quai blocs par déconfinement du sol support. En cours de chantier, il a été nécessaire de prendre en compte lors des études d'exécution, 2 nouveaux portiques à conteneurs sur rail ZPMC suite à leur achat par Port Réunion en 2015. Les portiques ont des dimensions plus importantes et une descente de charges plus forte que les portiques KONE opérant le quai avant les travaux. L'objectif était alors de s'assurer que les ouvrages en cours de construction étaient aptes à supporter les charges des 2 nouveaux portiques, et de construire parallèlement au quai une nouvelle voie de roulement arrière (poutre support et rail) (espace supérieur de 9 m par rapport aux portiques KONE). L'ensemble des travaux d'extension de Port Est Phase 2 s'est déroulé sous exploitation portuaire, en communication constante avec les services de la capitainerie afin de minimiser l'impact des travaux sur l'activité du port.

> **Mots clefs** : portiques, tirants forés, paroi moulée, quai, jet grouting, maritime

■ 15-3. Essais de chargement statique sur des pieux tarière type 3 à événements rotatifs 3TER

Briançon Laurent¹, Lambert Serge², Fleck Emerson², Chiani Maurizio³

- 1 - INSA Lyon (France),
- 2 - Keller (France),
- 3 - Dimione Systems (France)

Dans le cadre de la rédaction de son cahier des charges sur le pieu CFA type 3, la société Keller a réalisé des essais de chargement statique dans les différentes catégories de sols sur chantiers afin de définir les coefficients de portance et de frottement. Le pieu CFA TYPE 3 rentre dans la catégorie des pieux forés à la tarière creuse type 3. Un outil spécifique de conception et de fabrication propre à l'entreprise Keller est utilisé. Il permet d'assurer une meilleure qualité de bétonnage qu'une tarière classique grâce à 2 événements latéraux rotatifs situés à l'extrémité d'un tube plongeur télescopique rotatif en partie basse de l'outil. Le contrôle de la réalisation des pieux est assuré par un système d'acquisition et d'impression de données évolué de dernière génération qui donne des données en temps réel de forage et de bétonnage aussi bien dans la foreuse qu'à distance. Trois pieux de 620 mm de diamètre et de longueur 13,5 m, 6,5 m et 5,5 m ont été testés sur le site d'un Poste RTE à GRIMAUD (83). La nature du sol a été caractérisée par des essais pénétrométriques, pressiométriques et des essais en laboratoire. La qualité du béton mis en oeuvre a été vérifiée par des essais sur éprouvettes et sur des carottes prélevées dans un pieu. Le pieu long est ancré dans une couche de sable et gravier alors que les pieux courts sont ancrés dans une couche d'argile. A l'occasion de cet essai, une poutre de chargement a été utilisée pour appliquer un chargement jusqu'à la rupture de chaque pieu. La cage d'armature du pieu long a été instrumentée par seize jauges de déformation collées sur des barres de un 1 m de long. Ces barres ont été directement soudées sur la cage d'armature à différentes positions. Une fibre optique a été fixée tout le long de l'armature sur les trois pieux. Les essais de chargement statique ont permis de mettre en évidence que les coefficients de portance et de frottement préconisés dans la norme NF P94262 pouvaient être réévalués pour les pieux CFA de type 3.

> **Mots clefs** : instrumentation, essais de chargement, Pieux

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 15-4. Modéliser une cuvette de tassement au tunnelier réaliste à l'aide d'une loi de comportement adaptée

Gilleron Nicolas¹, Bourgeois Emmanuel²

- 1 - EGIS Géotechnique (France),
- 2 - IFSTTAR (France)

La prévision des tassements provoqués par le creusement de tunnels en milieu urbain est un enjeu majeur, de l'avant-projet au suivi des travaux. Les calculs par éléments finis bidimensionnels sont couramment utilisés pour modéliser le creusement au tunnelier. Ils permettent de modéliser le processus de creusement, le comportement mécanique du terrain et des avoisinants (bâti, réseaux et/ou infrastructure). L'analyse des risques du creusement permet de retenir une valeur appropriée de la pression de confinement. Néanmoins, ce type de calculs conduit généralement à des largeurs de cuvettes de tassement supérieures à celles mesurées, en particulier dans des sols sableux à marneux. Dès lors on s'expose à une sous-estimation du risque sur les avoisinants. Ce résultat, connu de la profession, a déjà fait l'objet de nombreuses publications qui se concentrent principalement sur la modélisation du processus de creusement, 2D ou 3D, contraction ou convergence-confinement, sans aboutir à un véritable consensus. On propose ici une piste originale, en travaillant la loi de comportement du terrain, pour reproduire l'étroitesse des cuvettes de tassement observée. Une nouvelle loi de comportement du terrain a été développée pour la modélisation tridimensionnelle de creusement avec la méthode conventionnelle. Elle est utilisée ici pour la première fois pour la modélisation du creusement au tunnelier dans les sols de la région parisienne. Cette loi combine plusieurs mécanismes indépendants dont on met en évidence l'impact respectif. L'isotropie transverse, qu'elle soit originelle et/ou induite par le creusement, a une influence directe sur la largeur de la cuvette de tassement et permet d'améliorer la représentativité des modélisations numériques. La loi permet également d'illustrer l'influence d'un module de déchargement/rechargement sur les tassements et également du profil de raideur en fonction de la contrainte déviatorique. Elle est mise en oeuvre dans le cas du creusement d'un tunnel de tramway au sud de la région parisienne pour lequel des mesures sont disponibles.

> **Mots clefs** : Tunnelier, loi de comportement, Tunnel, Tassement

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 16-2. Dimensionnement du boulonnage à la limite élastique : confrontation des formules analytiques avec les essais à l'échelle un

Maiolino Siegfried¹, Pellet Frederic²

- 1 - Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (France),
2 - MinesParis-Tech (France)

Le boulonnage par barre d'ancrage scellée constitue une technique courante de renforcement des tunnels et ouvrages souterrains, ainsi que des instabilités rocheuses de surface. Plusieurs formulations analytiques ont pu être proposées. Cependant, ces formules, parfois simples et empiriques, parfois très complexes, souffrent d'un manque de confrontation avec l'expérience, pour satisfaire aux exigences qui se font de plus en plus prégnantes sur les ouvrages boulonnés. En effet, il est impossible a priori de garantir que les boulonnages ainsi dimensionnés satisfont à l'exigence de travailler seulement dans le domaine élastique. La machine de cisaillement à échelle 1 du Laboratoire de Lyon du CEREMA (anciennement CETE de Lyon), permet de faire travailler une barre en cisaillement dans des conditions identiques à celles des barres renforçant les massifs rocheux. Nous avons analysé ces essais et de comparé les résultats obtenue par plusieurs formules de dimensionnement couramment utilisés afin de déterminer sous quelles conditions ces dernière peuvent garantir que les boulons travaillent dans le domaine élastique. Sur les trois méthodes utilisées, une seule, tenant compte des déformations de la barre dans sa formulation peut être utilisée directement pour prédire la contribution de la barre à la limite élastique. Quant aux autres, il apparaît nécessaire d'en réduire sensiblement la valeur pour pouvoir l'utiliser.

> **Mots clefs** : dimensionnement, essai de cisaillement, Boulonnage

■ 16-3. Etude paramétrique de la résistance à l'arrachement d'un ancrage passif scellé au rocher

Bost Marion¹, Ho Duc An¹, Pruvost Christophe¹, Khadour Aghiad¹, Joffrin Patrick¹, Huteau Magali², Robit Philippe³

- 1 - IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (France),
2 - SNCF Réseau Direction Ingénierie et Projets (France),
3 - GTS R&D (France)

La mise en oeuvre des ancrages passifs scellés au rocher représente un coût important pour les réseaux de transport sujets à l'aléa rocheux. Cet ouvrage est en effet utilisé à la fois en confortement de blocs instables et en arrimage de dispositifs de protection pare-blocs. Dans ce contexte, l'optimisation de la conception de ce type d'ouvrage représente un enjeu fort. Or le comportement d'un ancrage passif scellé au rocher sollicité axialement est complexe : il fait intervenir le comportement et la rupture non seulement des matériaux constituants mais également des interfaces. Les préconisations en matière de conception se basent donc actuellement sur des constats de bonne pratique et non sur une théorie qui permettrait d'évaluer le caractère conservatif des choix effectués. Une campagne expérimentale in situ a été conçue pour étudier l'influence de différents paramètres de conception (diamètres de la barre et du forage, type de coulis de ciment, longueur de scellement, accessoires de mise en oeuvre) sur la résistance de l'ancrage. 36 essais d'arrachement de barres d'acier haute adhérence scellées au coulis de ciment dans un massif calcaire résistant ont été réalisés. Une instrumentation adaptée et innovante (fibre optique) a permis de suivre le comportement de l'ancrage au cours de chaque essai. Dans ces conditions d'essais, il n'a pas été noté d'influence de la canule d'injection sur la résistance à l'arrachement de l'ancrage. Concernant le recours à une chaussette géotextile, une attention particulière doit être portée à sa mise en oeuvre afin d'assurer une bonne adhérence avec la paroi du forage (pression d'injection du coulis suffisante). Le type de coulis n'a pas d'effet sur la rigidité de l'ancrage alors que cette dernière augmente quand le diamètre de forage diminue ou le diamètre de la barre augmente. Enfin, une longueur maximale de scellement effectivement mobilisée le long de la barre a été déterminée. Pour être généralisés, ces résultats doivent être complétés par de nouveaux essais dans des massifs rocheux différents afin de tenir compte de l'effet de leur rigidité mis en évidence numériquement.

> **Mots clefs** : Mots clefs : étude paramétrique, essais d'arrachement, résistance, roche, ancrage passif

■ 18-4. Caractérisation de l'argilite du Callovo-Oxfordien sous des sollicitations thermiques

Braun Philipp^{1,2}, Ghabezloo Siavash¹, Delage Pierre¹, Sulem Jean¹, Conil Nathalie²

1 - Ecole des Ponts ParisTech, Navier/CERMES (France),
2 - Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (France)

L'argilite du Callovo-Oxfordien (COx) est considérée comme une roche candidate pour le stockage géologique profond des déchets radioactifs en France. L'identification de ses paramètres thermo-poro-élastiques est d'une grande importance pour prédire les déformations de la roche provoquées par la chaleur générée par les colis de déchets exothermiques. Différents auteurs ont effectué, en laboratoire, des expériences drainées et non drainées sur cette roche. Cette étude expérimentale a été réalisée pour compléter les propriétés thermiques trouvées par [1]-[3]. Deux échantillons de COx ont été testés sur des paliers de chauffage et de refroidissement en utilisant une cellule de chargement isotrope à haute pression [4]. Cette cellule a été améliorée par un système des jauges extensométriques corrigées en fonction de la température. Le dispositif a permis des mesures de déformation précises sur les échantillons, la détermination des coefficients de dilatation thermique drainés et non drainés, ainsi que du coefficient de pressurisation thermique. Deux échantillons ont été chauffés en condition non-drainée jusqu'à 90°C puis refroidis. L'ensemble des données des propriétés thermiques drainées et non drainées obtenues à chaque niveau de température permet d'analyser la compatibilité des paramètres dans un cadre thermo-poro-mécanique.

Références

- [1] M. Mohajerani, P. Delage, J. Sulem, M. Monfared, A. M. Tang, and B. Gatmiri, The thermal volume changes of the callovo-oxfordian claystone, *Rock Mech. Rock Eng.*, vol. 47, no. 1, pp. 131-142, 2014. [2] H. Menaceur, P. Delage, A. Tang, and N. Conil, The thermo-mechanical behaviour of the Callovo-Oxfordian claystone, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, vol. 78, pp. 290-303, 2015. [3] M. Mohajerani, P. Delage, J. Sulem, M. Monfared, a. M. Tang, and B. Gatmiri, A laboratory investigation of thermally induced pore pressures in the Callovo-Oxfordian claystone, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, vol. 52, pp. 112-121, 2012. [4] M. Belmokhtar, P. Delage, S. Ghabezloo, A.-M. Tang, H. Menaceur, and N. Conil, Poroelasticity of the Callovo-Oxfordian Claystone, *Rock Mech. Rock Eng.*, vol. 50, no. 4, pp. 871-889, 2016.

> **Mots clefs** : THM, experimental study, Callovo-Oxfordian claystone, thermal

■ 18-5. Détermination des propriétés THM des roches poreuses avec un essai de chargement transitoire

Braun Philipp^{1,2}, Ghabezloo Siavash¹, Delage Pierre¹, Sulem Jean¹, Conil Nathalie²

1 - Ecole des Ponts ParisTech, Navier/CERMES (France),
2 - Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (France)

La détermination en laboratoire des paramètres thermo-poro-élastiques des géomatériaux de faible perméabilité est ardue et dépend des conditions de drainage imposées lors de l'essai. Il convient, dans des essais élémentaires, d'assurer une bonne homogénéité du champ de pressions interstitielles afin de déterminer les propriétés mécaniques drainées, ce qui requiert des durées d'essai longues. Les essais non-drainés sont moins longs, mais ils exigent l'absence totale des fuites dans les systèmes poreux connexes à l'échantillon, ainsi que des étalonnage précis de la déformabilité du système de drainage [1]. On analyse dans ce travail la génération de pressions interstitielles et les déformations résultantes dans le cas de plusieurs essais de compression isotropes, à l'aide de fonction analytiques décrites dans [2]. Ceci permet d'élaborer des protocoles de chargement plus efficaces pour la réalisation d'essais thermo-hydro-mécaniques (THM) drainés et non-drainés. Ces protocoles, comparables à celui de [3], sont appliqués sur des essais réalisés sur l'argilite du Callovo-Oxfordien (COx). Cette argilite a une perméabilité faible de l'ordre de 10-20 m², et les essais requérant la dissipation ou l'équilibrage des pressions interstitielles peuvent être très longs. Des protocoles améliorés sont donc souhaitables.

Références

- [1] S. Ghabezloo and J. Sulem, Effect of the volume of the drainage system on the measurement of undrained thermo-poro-elastic parameters, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, vol. 47, no. 1, pp. 60-68, 2010. [2] P. Braun, S. Ghabezloo, P. Delage, J. Sulem, and N. Conil, Theoretical analysis of pore pressure diffusion in some basic rock mechanics experiments, *Rock Mech. Rock Eng.*, doi: 10.1007/s00603-018-1410-8. [3] D. J. Hart and H. F. Wang, A single test method for determination of poroelastic constants and flow parameters in rocks with low hydraulic conductivities, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, vol. 38, no. 4, pp. 577-583, 2001.

> **Mots clefs** : Callovo-Oxfordian claystone, triaxial testing, radioactive waste, experiments

■ 20-1. Mouvements de terrain liés à la dissolution du gypse :
Approche méthodologique d'évaluation et de gestion du risque

Lecomte Amélie¹, Charmoille Arnaud¹, Kreziak Charles²

1 - INERIS (France),
2 - CEREMA (France)

Dans tous les contextes où du gypse est présent dans le sous-sol, une dissolution naturelle peut se développer et créer des vides souterrains de dimensions plus ou moins importantes. Lorsque les conditions mécaniques sont réunies, la déstabilisation des cavités ainsi créées peut conduire à l'apparition de mouvements de terrain en surface. En réponse aux questionnements des pouvoirs publics, des collectivités ou des aménageurs, l'INERIS s'est attaché à comprendre le fonctionnement de ce type de mécanismes. Des travaux, en laboratoire, in situ et de modélisation dans les domaines de l'hydrogéologie, de la géotechnique et de l'analyse de risque ont été menés afin d'approfondir la connaissance des mécanismes mis en jeu. A partir de ces travaux, la méthodologie mise en oeuvre par l'INERIS et le Cerema s'est basée principalement sur la combinaison de critères géologiques et hydrogéologiques. Elle tient compte des spécificités inhérentes au contexte de dissolution, depuis les processus de création des vides jusqu'à leur évolution vers un désordre en surface. Afin de mettre à disposition ces connaissances aux acteurs de la gestion des risques naturels confrontés à la présence de gypse sur leur territoire, l'INERIS et le Cerema ont établi un guide présentant les critères à prendre en compte pour évaluer les aléas, les risques induits et les solutions techniques de mitigation adaptées. Il est proposé de présenter une synthèse de ce document en mettant en évidence les spécificités des contextes concernés et du caractère soluble du gypse par rapport aux approches plus classiques d'évaluation des aléas et des risques des cavités souterraines.

> **Mots clefs** : géotechnique, mouvements de terrain, cavités souterraines, dissolution, Gypse, hydrogéologie

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 20-2. Analyse des risques à Conflans Sainte Honorine - une ville dynamique sur un sous-sol surexploité

Reboul Michaël¹, Drochon Christel¹, Da Silva Melo Melissa¹

1 - TECHNOSOL (France)

Conflans Sainte Honorine (78) est implantée sur un plateau calcaire entaillé par les vallées de deux fleuves (Oise à l'Ouest et Seine au Sud). Le Calcaire Grossier fut exploité pour la pierre à bâtir depuis la fin du XVIII^e siècle et principalement lors du XIX^e siècle, et ce sur deux niveaux, pour une superficie total de galeries de 150 hectares. Technosol a réalisé le diagnostic de l'ensemble de ces carrières, et des fronts rocheux et soutènements associés, dans une démarche d'analyse de risques poussée, croisant pour chaque site gravité et probabilité d'occurrence d'un sinistre afin de prioriser les actions à entreprendre (du renforcement du suivi à la définition de travaux de confortement lourds). Une fois le diagnostic aboutit, l'avant-projet de confortement a été étudié pour la vingtaine de sites répertoriés d'urgents à très urgents, présentant une méthodologie d'intervention détaillée et un chiffrage des travaux.

> **Mots clefs** : aléas, enjeux, murs de soutènement, risques, fronts rocheux, carrières

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 20-5. Valorisation des sables usés de la fonderie dans le domaine de BTP

Bekki Hadj¹

1 - Université Ibn Khaldoun de Tiaret (Algérie)

L'industrie de la fonderie utilise, entre autres, pour les coulées de pièces, des moules et des noyaux en sables. Cela génère, par conséquent, des quantités importantes de sables usés dont un faible volume seulement sera recyclé au niveau de l'usine, d'où l'intérêt de valoriser ces matériaux dans plusieurs domaines. Les sables usés peuvent être classés en 2 catégories : Les sables à liants minéraux naturels, essentiellement le sable à vert où le liant est la bentonite (argiles à environ 10%). Dans cette catégorie, l'élimination des sables n'induit pas de risques de pollution pour l'environnement, sauf s'ils contiennent des résidus de coulée. Les sables à liants organiques de synthèse, où les liants peuvent être des résines de type phénolique, furanique, polyuréthane, époxy, etc. Le présent travail s'inscrit dans cette optique, dans lequel on a mené une étude expérimentale pour la valorisation des sables de fonderie dans le domaine de BTP. Dans notre étude, on s'est intéressé également au traitement des sables polluants, ce qui contribuera certainement à la protection de l'environnement et au développement durable. Il a été trouvé que les sables à minéraux naturels, tel que le sable à vert, donnent, après traitement aux liants hydrauliques (chaux ou ciment), des performances mécaniques intéressantes (Proctor et CBR) pour être utilisés en construction routière, autant que couches de forme ou remblais. En effet, en utilisant les liants hydrauliques comme agents de traitement, l'Indice CBR passe de 30%, à 135% avec un ajout de 2% de ciment, et à 75% avec un ajout de 2% de chaux. Le développement d'un dispositif expérimental pour le traitement hydraulique du sable au silicate de soude a permis de réduire le pH de ce matériau et rendre son utilisation très faisable dans le domaine de BTP.

> **Mots clefs** : matériaux de construction, construction routière, valorisation, Sables de fonderie, protection de l'environnement.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

■ 21-1. Rôle des intempéries dans les mouvements de terrain liés aux cavités : Retour sur la crise «Loiret» juin 2016

Noury Gildas¹, Perrin Jérôme¹, Gourdière Sébastien¹

1 - Bureau de recherches géologiques et minières (France)

L'eau est souvent considérée comme un facteur aggravant les instabilités souterraines. Grâce à un financement de l'actuel ministère de la Transition écologique et solidaire (Direction Générale de la Prévention des Risques - DGPR), le BRGM étudie l'influence des intempéries (pluies, inondations) sur l'apparition de mouvements de terrain liés aux cavités. Les événements de mai-juin 2016 confirment le lien très fort qui existe entre des situations climatiques extrêmes et l'apparition d'effondrements ou d'affaissements. Dans le val d'Orléans, sur une zone relativement peu étendue concernée par un karst calcaire sous couverture alluviale, le taux moyen d'apparition de fontis aurait ainsi été multiplié par un facteur 16 000 à 24 000. Au nord d'Orléans, l'inondation de la vallée sèche de la Retrève a quant à elle déclenché des effondrements jusqu'alors jamais observés : ceux-ci s'expliquent par la ruine totale ou partielle de caves, d'anciens puits comblés ou de carrières artisanales mais aussi par le déboufrage brutal de gouffres karstiques. Ces événements révèlent une fois de plus la grande sensibilité à ces événements de la plaine d'inondation de Loire, en particulier en cas d'une crue majeure telles celles ayant eu lieu au 19^e siècle. Ce retour d'expérience est mis en perspective avec d'autres cas ayant touché la France (dans la Somme et la région de Cambrai durant l'hiver 2000-2001, dans le Var en contexte évaporitique en 2010, en Normandie dans le contexte de la craie en 1995, etc.) et l'étranger (Albany - USA en 1994, banlieue de Londres en 2013-2014, Floride en 2017 suite à l'ouragan IRMA, etc.).

> **Mots clefs** : carrière, cave, karst, Loiret, retour d'expérience, inondation, intempérie, cavité, mouvement de terrain, puits

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

■ 21-2. Causes et conséquences de l'effondrement du front de coteau sous-miné de la rue des Marche à VILLAINES LES ROCHERS

Philippe Alexandre¹

1 - Syndicat Intercommunal Cavités 37 (France)

La commune de VILLAINES LES ROCHERS en Indre et Loire (37) est positionnée aux points de confluences de plusieurs vallées dont les fonds sont occupés par des affluents de l'Indre. Ces vallées accueillent des centaines de cavités souterraines creusées dans les unités crayeuses du Turonien qui constituent le patrimoine historique de ce village troglodytique. Ces caves, utilisées pour de l'habitation, s'agencent sur plusieurs niveaux et sous-minent les fronts rocheux qui bordent un plateau agricole. Le 14 février 2014, le coteau sous-cavé bordant la rue des marches s'est effondré conduisant à un blessé à la ruine de plusieurs cavités souterraines troglodytiques et à la destruction d'un bâtiment d'habitation. Les deux cents cinquante mètres cubes d'ébouillis se sont propagés sur la voie de circulation immédiatement voisine. Ce sinistre, qui s'est déclaré au niveau de propriétés privées, a conduit à la fermeture de l'axe routier principal du village et a perturbé l'ensemble du fonctionnement de la collectivité tant sur le plan logistique que social. La voie publique n'a pu être ré ouverte qu'à l'issue d'une campagne de travaux de consolidation et de protection effectuée un an après la survenue du sinistre. Le financement de ces opérations est quant à lui toujours discuté à l'heure d'aujourd'hui. Outre le possible défaut d'entretien des cavités souterraines, l'étude des causes de l'effondrement montre que le sinistre est immédiatement relié à des écoulements d'eaux induits par l'exploitation de terres agricoles implantées au droit du plateau à l'amont de la zone sinistrée. Le remembrement effectué dans les années 1970 a conduit à l'établissement de parcelles agricoles, d'une superficie dépassant l'hectare, dont les ruissellements ont été mal maîtrisés. Ces derniers ont conduit sur le long terme à la dégradation irrémédiable du front rocheux sous-miné de la rue des Marches. Ce sinistre, parmi d'autres en Touraine, montre que l'absence d'entretien des coteaux sous-cavés, mais aussi de limites à la culture intensive, peut conduire à l'accélération des processus de dégradation et à des mouvements de terrain irrémédiables.

> **Mots clefs :** *mouvements de terrain, cavités souterraines, risques, effondrement*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 21-3. Rôle des aménagements sur l'apparition d'effondrements en contexte karstique

Noury Gildas¹, Perrin Jérôme¹

1 - Bureau de recherches géologiques et minières (France)

La présence de karst dans le sous-sol génère un risque d'effondrement ou d'affaissement parfois incompatible avec la sécurité des biens et des personnes. Les infrastructures présentes en surface peuvent accélérer les phénomènes en particulier lorsqu'elles viennent concentrer les infiltrations d'eau dans le sol. A travers une étude menée en 2015 et 2016 et financée par l'actuel ministère de la Transition écologique et solidaire (Direction Générale de la Prévention des Risques), le BRGM a analysé l'influence des aménagements anthropiques sur les mouvements de terrain d'origine karstique (calcaire, craie, gypse). Les travaux effectués consistent en une recherche bibliographique, une enquête documentaire auprès de diverses entités (BRGM, CEREMA, INERIS, bureaux d'étude de sol, collectivités locales, etc.) et une modélisation des flux d'eau dans le sol. Ils confirment le rôle des bassins, des fuites de canalisation et des ouvrages d'infiltration ponctuelle comme facteurs aggravants voire déclenchant des instabilités. L'abaissement du niveau piézométrique (par pompage par exemple) étant actuellement peu marqué en France, son rôle dans l'apparition de mouvements de terrain semble limité (il l'a été en région parisienne jusque dans les années 1980 et l'est toujours à l'étranger, par exemple en Floride ou en Chine). Le contexte géologique le plus sensible à ces perturbations est celui du karst carbonaté sous couverture meuble : les particules de sol, faiblement cohésives, sont soumises au phénomène de soutirage (parfois aussi appelé suffosion), à savoir leur érosion interne vers les vides karstiques sous-jacents. La vitesse d'apparition des désordres est très variable et reste, en l'état, difficile à appréhender. La modélisation numérique de deux cas d'infiltration concentrée (type bassin et type fuite ponctuelle) a permis d'analyser, de manière exploratoire, la vitesse à laquelle un sol type se sature, situation hydrogéologique favorable au phénomène de soutirage/suffosion. L'étude se conclut par une série de recommandations techniques en vue de limiter les effets des aménagements sur les mouvements de terrain. Deux rapports à accès public ont été édités à l'issue de cette étude (références : RP-65280-FR et RP-66446-FR).

> **Mots clefs :** *infiltration, canalisation, bassin, soutirage, suffosion, affaissement, saturation, effondrement, mouvement de terrain, karst, gypse, craie, calcaire, pompage*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 21-4. L'ancienne mine des Camoins à Marseille : surveillance et mise en sécurité dans un environnement sensible

Delmas Boris¹, Aubert Clémentine²

- 1 - Département Prévention et Sécurité Minière (France),
- 2 - Bureau de Recherches Géologiques et Minières (France)

L'ancienne mine de soufre des Camoins à Marseille (13) fait l'objet d'une surveillance dans le cadre de la prévention et de la sécurité minière instaurées par l'état. Aujourd'hui situés sous un quartier résidentiel, les vides miniers sont à faible profondeur (20 à 30 m) et partiellement ennoyés par un aquifère exploité par un établissement thermal. Ils étaient accessibles par un puits non remblayé. Les études d'aléa effondrement ont conduit à une première tranche de comblement des vides miniers au droit des voiries et à la mise en place d'une surveillance par le fond. Les inspections visuelles et les mesures de convergences réalisées ont permis de constater l'évolution de la dégradation d'un secteur situé sous deux villas. Une deuxième tranche de comblement des vides a donc été engagée pour sécuriser ces enjeux en surface. Le choix d'un comblement par le fond avec réalisation d'un nouveau puits s'est imposé car la zone à traiter était peu accessible par le puits existant et les aménagements en surface ne permettaient ni de réaliser l'ensemble des sondages (pour un comblement par la surface), ni d'installer les équipements de chantier. La localisation du nouveau puits a été déterminée, en dehors de la zone à combler, par la position des galeries et leur stabilité. Situé sur le domaine privé, l'espace disponible en surface était adapté mais il a fallu convaincre l'association propriétaire de la parcelle sur laquelle est installé un établissement scolaire. Une des conditions a été de creuser le puits pendant les vacances scolaires. Il a été possible de conserver l'accès de ce nouveau puits pour poursuivre la surveillance de cette zone. Le comblement a été réalisé par injection de coulis dans deux secteurs isolés par la construction de barrages. Une attention particulière été apportée au risque de pollution de la nappe, et au dégagement de radon (gaz radioactif naturel) provenant de la roche. La pérennité des accès aux puits en surface, dans les propriétés privées, a fait l'objet d'actes notariés pour établir des servitudes. Au fond, tant que l'état de stabilité le permet la surveillance se poursuit. A terme une surveillance par forage est envisagée.

> **Mots clefs** : mise en sécurité, surveillance, comblement, ancienne mine

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 21-5. Étude numérique et expérimentale des mécanismes de transfert de charge dans une plateforme granulaire renforcée par géosynthétique et sujette à un effondrement localisé.

Chalak Caroline¹, Briancon Laurent¹, Villard Pascal²

- 1 - INSA-Lyon (France),
- 2 - L3S-R, Université Grenoble Alpes (France)

La construction de plateformes routières et ferroviaires dans des zones à risque d'effondrements localisés liés à la présence de cavités souterraines, vu le besoin d'exploitation de nouvelles zones du territoire, nécessite la mise en oeuvre d'un renforcement spécifique. L'utilisation de géosynthétiques est très fréquente comme technique de renforcement et offre une solution économique et environnementale. Lorsqu'une cavité se forme sous la plateforme granulaire renforcée, le géosynthétique se déforme en membrane et assure la stabilité de la plateforme. Cependant, les méthodes de dimensionnement existantes nécessitent toujours des améliorations pour prendre en compte les mécanismes réels développés dans la plateforme renforcée et la complexité des interactions sol-géosynthétique. Pour une meilleure compréhension du problème et l'amélioration des méthodes de dimensionnement, un modèle numérique basé sur un couplage DEM-FEM est utilisé pour étudier le comportement d'une plateforme granulaire renforcée par géotextile et sujette à un effondrement localisé. La validation des résultats numériques est réalisée par comparaison avec des résultats expérimentaux des essais munis au laboratoire SMS-ID (INSA-Lyon). Ces essais permettent de simuler des plateformes renforcées par géosynthétiques sur cavité circulaire avec des différents rapports H/D (H: Hauteur de la plateforme granulaire, D: Diamètre de la cavité). Deux types d'ouvertures sont testés : 1-ouverture progressive de la cavité et 2-effondrement vertical. Le modèle numérique et les essais expérimentaux permettent de mettre en évidence l'effet du mode d'ouverture et du rapport H/D sur la déformation du géotextile et le tassement en surface. En addition, la modélisation numérique permet de surpasser les limitations expérimentales, ce qui permet d'analyser finement le foisonnement du matériau granulaire au-dessus de la cavité et d'accéder à tous les paramètres nécessaires (porosité, forme des grains, ...) pour étudier la transmission des efforts dans la plateforme granulaire et son évolution dans le temps, en fonction des différents modes d'ouverture de la cavité. Ce travail de recherche est mené, en collaboration avec P. Villard, dans le cadre du LabCom PITAGOR (Plateforme d'Innovations Technologiques Appliquées aux Géosynthétiques des Ouvrages Renforcés), associant le laboratoire SMS-ID de l'INSA de Lyon et la société TEXINOV. Ce projet LabCom est financé par l'ARN sur une durée de trois ans.

> **Mots clefs** : Matériau granulaire, Géosynthétique, cavité, DEM, FEM

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 21-6. Impact du changement climatique sur la sinistralité due au retrait-gonflement des argiles

Gourdiér Sébastien¹, Plat Emmanuelle¹

1 - Bureau de recherches géologiques et minières (France)

En France, le coût total des sinistres liés au phénomène de retrait-gonflement des formations argileuses, indemnisés depuis 1989 dans le cadre de la procédure sur les catastrophes naturelles, est évalué à plus de 8,5 milliards d'euros par la Caisse Centrale de Réassurance (estimation de novembre 2015 pour la période 1990-2013). Les travaux récents sur le changement climatique (projet ClimSec Météo-France, entre autres) ont montré que la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur et des sécheresses allaient inévitablement augmenter au cours du siècle sur le territoire français. Ainsi, selon le scénario climatique envisagé, à la fin du siècle un été sur trois, voire un été sur deux, serait au moins aussi chaud que l'été 2003. L'Association Française de l'Assurance estime (scénario RCP 8.5 du GIEC) qu'à l'horizon 2040, le coût assurantiel de la sécheresse géotechnique devrait quasiment tripler, 60% de cette augmentation serait à imputer au changement climatique. Les travaux menés par la CCR et Météo-France (déc. 2015) montrent que les dommages annuels consécutifs aux événements climatiques devraient doubler d'ici 2050, le changement climatique seul (scénario RCP 4.5) en expliquerait 20%. A la suite des travaux qui avaient été conduits dans le cadre du groupe de travail Risques Naturels, Assurance et Changement Climatique (2009), le BRGM a développé un modèle de coûts des dommages sous différentes hypothèses de changement climatique pour évaluer son impact sur la sinistralité liée au retrait-gonflement des argiles et les incertitudes associées. Le modèle prend en compte l'évolution des fréquences d'occurrence des épisodes de sécheresse géotechnique en se basant sur les données du projet ClimSec (indicateur SSWI, en particulier), calculées à partir de scénarios de changement climatique du GIEC (A1B, A2 et B1 du 4ème rapport). Il intègre deux hypothèses d'évolution du nombre de maisons individuelles (Explore 2070) à l'échelle régionale, ainsi que la répartition géographique, à l'échelle départementale, des sinistres passés et les coûts moyens associés. Outre l'impact du changement climatique, le modèle permet d'évaluer les bénéfices qu'apporterait une politique d'adaptation se traduisant par une amélioration de la qualité de la construction (via des contraintes réglementaires sur les constructions neuves, par exemple).

> **Mots clefs** : *changement climatique, sécheresse, gonflement des argiles, sinistralité, retrait, adaptation*



SESSIONS PARALLÈLES

VENDREDI 15 JUIN 2018



■ 22-1. Durabilité chimique du sable bio-cimenté : étude mécanique et microstructurale

Dadda Abdelali¹, Emeriault Fabrice¹, Geindreau Christian¹,
Esnault File Annette², Garandet Aurélie³

- 1 - L3S-R, Université Grenoble - Alpes (France),
- 2 - Solétanche Bachy (France),
- 3 - Compagnie Nationale de Rhône (France)

Une campagne expérimentale a été réalisée pour étudier les effets d'une solution agressive sur la résistance mécanique du sable bio-cimenté. Les tests de dissolution accélérée ont été effectués sur des échantillons triaxiaux extraits d'un modèle physique à grande échelle. Une solution chimique agressive composée de chlorure d'hydrogène et d'un tampon (Tris) et présentant un pH initial de 6,6 a été injectée dans le dispositif triaxial. Les modifications des propriétés physiques et mécaniques de l'échantillon ont ensuite été étudiées. Des essais drainés triaxiaux avec des pressions de confinement constantes ont été effectués sur les échantillons traités chimiquement afin de déterminer leur résistance restante. Les résultats expérimentaux indiquent que la résistance des échantillons traités diminue de façon importante par rapport à celle des échantillons non traités. Plusieurs observations au MEB et par micro-tomographie synchrotron ont été effectuées afin d'identifier les changements microstructuraux induits par la dissolution chimique. Généralement, ces observations microstructurales ont montré une dissolution uniforme de la calcite à l'échelle des pores. Elles ont pu mettre en évidence que la dissolution chimique provoque un endommagement aléatoire des cristaux de calcite, une réduction de la densité et de la taille des cristaux, ce qui augmente la surface de calcite en contact avec la solution chimique. La surface de contact inter-granulaire est aussi réduite par la dissolution, ce qui provoque une dégradation de la résistance mécanique. Par contre, le nombre de coordination et la surface spécifique de la calcite à l'intérieur des échantillons observés ne montrent aucune évolution lors de ces tests de dissolution. Enfin, la comparaison des résultats de ces essais de dissolution avec ceux obtenus lors d'essais de calcification semble montrer que ces processus ne présentent pas d'hystérésis.

> **Mots clefs** : surface de contact, Tomographie RX, MEB, triaxial, durabilité chimique, Bioce-
mentation, nombre de coordination.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 22-2. Renforcement des digues par la technique du deep soil mixing : retour d'expérience

Saussaye Lucile¹, Le Kouby Alain², Mathieu Fabrice³, Mosser Jean François³

- 1 - CEREMA - Direction Territoriale Normandie-Centre (France),
- 2 - IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (France),
- 3 - Solétanche Bachy (France)

Le renforcement de corps de digue par la méthode de deep soil mixing vis-à-vis de la problématique d'érosion interne s'inscrit dans le projet sécurisation des digues de Loire mené par les Directions Départementales des Territoires gestionnaires des digues de Loire et la Direction Régionale pour l'Environnement, l'Aménagement et le Logement Centre-Val de Loire dans le cadre du Plan Loire Grandeur Nature. Le soil mixing consiste à mélanger le sol en place avec un liant hydraulique pour améliorer ses caractéristiques mécaniques et hydrauliques et former ainsi un écran étanche au sein du corps de digue. Depuis 2013, plusieurs chantiers de renforcement de corps de digue ont été réalisés sur un linéaire de plusieurs kilomètres. L'objectif de cet article est de faire une synthèse des paramètres mesurés in situ susceptibles d'influencer les performances mécanique (Rc) et hydrauliques (perméabilité (k), porosité à l'eau du mélange sol-liant afin d'émettre des recommandations pour optimiser la formulation de mélanges lors de futurs travaux de renforcement. Quatre chantiers de renforcement de digues de Loire ont été investigués pour cette étude. Pour chacun de ces chantiers, le volume d'eau injecté par la machine pour réaliser le mélange et la mesure de la teneur en eau initiale du sol en place ont permis d'estimer la teneur en eau initiale du mélange. Les valeurs des résistances à la compression simple (Rc) sont tracées en fonction des valeurs de teneurs en eau initiale. Des corrélations sont proposées entre ces deux paramètres dans le but de voir si une teneur en eau optimale est observée. Des mesures de densité in situ ont également été réalisées sur le chantier lors des prélèvements d'éprouvettes pour l'évaluation des performances mécanique et hydraulique du mélange en laboratoire. Une relation linéaire entre les Rc et la densité in situ pourrait être proposée. Des corrélations sont également proposées entre la perméabilité k à 28 jours, la teneur en eau initiale et la densité in situ du mélange. Des observations sur les valeurs optimales de résistance (Rc) et de perméabilité (k) en fonction de la teneur en eau sont également présentées.

> **Mots clefs** : densité, teneur en eau, résistance à la compression simple, perméabilité, soil mixing, écran étanche

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 22-3. Lutte contre les instabilités superficielles de talus: le parement ELITE

Robit Philippe¹

1 - NGE Fondations (France)

Les instabilités superficielles des talus routiers ou ferroviaires impactent quotidiennement les coûts de maintenance des Maîtres d'Ouvrages. Ces désordres, mineurs mais nombreux, sont généralement traités en suivant des règles de l'art non écrites dont l'application aléatoire conduit régulièrement à des sinistres. Fort de son expérience en confortement et en travaux d'accès difficile, NGE Fondations a conçu son propre système de parement composé d'un sandwich de grillage, de câblage et d'un connecteur de tête d'ancrage spécifique. Afin de pouvoir offrir une solution complète, NGE Fondations a développé d'une part, un protocole d'essai permettant de caractériser les résistances de ces parements souples et d'autre part, un modèle et une méthode de calcul permettant de justifier l'ouvrage final. Un banc d'essai a été développé pour tester jusqu'à la rupture tout type de parement souple. Une poche d'eau extensible est utilisée pour simuler la pression de réaction du sol sans que le comportement de ce dernier n'interfère sur les résultats. Des valeurs de résistances caractéristiques au poinçonnement et à la pression peuvent ainsi être déterminées. Un modèle de terrain a été élaboré à partir d'un gradient sur les caractéristiques de rupture du sol appliqué sur une couche superficielle parallèle au talus. Ce modèle a été pensé afin que les valeurs puissent être déterminées de façon sécuritaire avec peu de moyens d'investigation compte tenu de la faible ampleur des désordres concernés. Le dimensionnement de l'ouvrage est réalisé en appliquant la méthode des tranches qui a été adaptée afin que l'action du parement puisse être prise en compte, non pas le long de la surface de rupture mais en tant que moment résistant extérieur. La méthode intègre les coefficients partiels courants afin d'offrir une justification conforme aux attentes des Eurocodes.

> **Mots clefs** : modèle, essai, ferroviaire, routier, talus, confortement, instabilité, stabilité, méthode

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 23-2. Caractérisation du comportement des discontinuités rocheuses par fabrication additive

Jaber Jana¹, Conin Marianne¹, Bonina David², Godard Olivier², Deck Olivier¹, Kenzari Samuel²

1 - Université de Lorraine, Laboratoire GéoRessources, Ecole des Mines de Nancy (France),
2 - Institut Jean Lamour, Université de Lorraine (France)

Cet article présente de nouveaux résultats expérimentaux d'essais mécaniques préliminaires effectués sur des modèles réduits analogiques d'ouvrages rocheux discontinus construits par fabrication additive. La compréhension du comportement mécanique des massifs rocheux discontinus trouve de nombreuses applications dans les secteurs de l'exploitation des ressources naturelles, des travaux publics et de la gestion des risques. La modélisation physique est une des méthodes permettant d'étudier ce comportement des massifs rocheux, contrôlé par la présence de discontinuités géologiques. Le travail présenté dans cet article s'inscrit dans un programme de recherche dont l'objectif est d'étudier la possibilité de réaliser des modèles réduits d'ouvrages rocheux discontinus. Pour ce faire, il est impératif de respecter des lois de similitude pour tenir compte des facteurs d'échelles et de caractériser les discontinuités par des paramètres tels que la cohésion, la rugosité, la résistance à la traction, l'angle de frottement et l'angle de dilatace. L'originalité de ce travail repose sur la méthode utilisée pour la construction du modèle : la fabrication additive, une technique émergente dans le domaine de l'ingénierie des matériaux et largement utilisée dans les domaines industriels. Cette technique recouvre différents procédés de construction d'un objet réel en 3D, à partir d'un modèle numérique géométrique. Actuellement son utilisation en mécanique des roches est limitée à des modèles géologiques non sollicités mécaniquement. On utilise ici une technologie par frittage sélectif laser de poudre de polyamide 12. Des essais de traction, de compression et de cisaillement sont réalisés sur des éprouvettes construites par fabrication additive et contenant une discontinuité. Ces essais visent à caractériser la discontinuité par les quatre paramètres susmentionnés à travers l'étude de l'épaisseur de la discontinuité, la densité et la disposition des ponts rocheux intégrés dans la discontinuité et l'effet de sa rugosité. La présente communication présente les résultats de l'étude des paramètres. Les résultats obtenus de tous les essais permettent de caler ces paramètres afin d'ajuster le comportement d'une éprouvette de polymère pour qu'il soit similaire à celui d'une roche compte tenu des lois de similitudes.

> **Mots clefs** : fabrication additive, modèles physiques, massifs discontinus, Mécanique des roches, polymères

■ 23-3. Modélisation en endommagement radoucissant de la zone de rupture autour des ouvrages profonds dans des roches anisotropes quasi-fragiles

Trivellato Edoardo^{1,2}, Pouya Amade², Vu Minh Ngoc¹, Seyedi Darius¹

1 - Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (France),
2 - Laboratoire Navier (France)

L'Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (Andra), étudie l'impact d'un stockage profond des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue dans l'argilite du Callovo-Oxfordien. Des études de faisabilité à échelle réelle sont menées dans le laboratoire de recherche souterrain de l'Andra au Centre de Meuse Haute-Marne (CMHM). L'état de contraintes au niveau principal du laboratoire (-490 m) possède une composante horizontale majeure $sH = 16$ MPa, verticale $sV = 12$ MPa et horizontale mineure $sH = sV$. Les galeries suivent les directions de sH et sV . L'étude de la zone de rupture induite par l'excavation des galeries fait partie des suivis géotechniques.

Les sondages géologiques suggèrent que l'endommagement radoucissant est un phénomène prépondérant pour la réponse à court terme de la roche suite à l'excavation.

Des simulations numériques aux éléments finis ont déjà montré qu'un modèle elasto-endommageable peut reproduire des mécanismes d'instabilité dans des conditions isotropes, contrairement aux analyses similaires effectuées en elasto-plasticité. Les simulations ont été réalisées en déformations planes, en élasticité linéaire et avec un critère de rupture de Drucker-Prager. Même si les paramètres des deux modèles peuvent être calibrés pour reproduire les mêmes courbes de contraintes-déformations en compression monotone, ces modèles donnent des résultats différents.

Une galerie au CMHM creusée selon sH est choisie pour tester le modèle en endommagement radoucissant amélioré en comptant les anisotropies d'élasticité, de résistance et d'écrouissage du matériau. On obtient une bonne estimation numérique à court terme de la zone de rupture autour de la galerie, de sa forme et de son extension. De même, les valeurs des convergences à court terme sont conformes aux données obtenus in-situ.

> **Mots clefs** : matériaux quasi, zone de rupture, anisotropie, fragiles, radoucissement, endommagement, modélisation numérique

.....

■ 24-2. Sismicité Anthropique : synthèse sur l'aléa et les risques associés

Contrucci Isabelle ¹, Klein Emmanuelle¹, Coccia Stella¹, Bigarre Pascal¹

1 - Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (France)

Le lien entre activité industrielle dans le sous-sol et sismicité ressentie, a été mis en évidence dès le début du XX^e siècle dans les mines d'or profondes d'Afrique du Sud. Aujourd'hui, l'accroissement de la demande mondiale en énergie, en ressources et en matières premières conduit à la multiplication de projets potentiellement générateurs de sismicité anthropique ressentie. Même si ces cas sont rares au regard du nombre de projets à travers le monde, cette sismicité peut poser des problèmes en termes de sécurité publique et d'acceptabilité sociétale. La sismicité induite, dont le principal moteur est la perturbation anthropique du sous-sol, se distingue de la sismicité déclenchée, consécutive à la réactivation artificielle de failles géologiques naturelles en limite de rupture. La sécurité publique peut être mise en péril, lorsque la sismicité a lieu dans des régions de sismicité naturelle faible où il n'existe aucune prescription parasismique. L'acceptabilité sociale peut être remise en cause, et conduire à l'arrêt voire l'abandon de projets industriels y compris dans le cas de séismes ressentis de très faible intensité. Dans certains cas, cette sismicité peut perdurer longtemps après l'arrêt des opérations industrielles, voire se produire à plusieurs kilomètres des opérations, notamment lors d'opérations d'injections / extractions de fluides dans le sous-sol. Des solutions, basées sur la surveillance microsismique couplée au pilotage du processus industriel, peuvent être envisagées par les exploitants pour maîtriser l'aléa sismicité anthropique. Différentes stratégies sont développées autour des paramètres d'exploitation pour diminuer les pressions de fluide dans le sous-sol, ou optimiser le chargement ou déchargement gravitaire en profondeur et/ou en surface. De même des solutions existent pour réduire la vulnérabilité des enjeux quand la relocalisation du projet n'est pas possible. Concernant la sécurité au travail dans les mines, les opérateurs disposent de différentes approches pour limiter l'exposition des mineurs. Le risque de sismicité anthropique constitue de nouveaux défis tant en termes de connaissance et d'évaluation de l'aléa qu'en termes de gestion du risque. La synthèse qui est présentée, s'appuie sur une vaste étude bibliographique et l'analyse de cas récents ou emblématiques sur ce sujet.

> **Mots clefs** : Gestion du risque sismique, Aléa sismique, Risque industriel, Sismicité anthropique

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 24-3. Projet ANR SSHEAR sur les affouillements : développements et retombées pratiques

Chevalier Christophe¹, Larrarte Frédérique¹, Schmidt Franziska¹, Pham-Van-Bang Damien², Durand Edouard³, Gondret Philippe⁴, De La Roque Sidoine⁵, Cheetham Mark⁶, Hosseingholian Mohsen⁷

- 1 - IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (France),
- 2 - Laboratoire d'Hydraulique Saint-Venant (France),
- 3 - CEREMA / Direction Territoriale Normandie-Centre (France),
- 4 - Laboratoire Fluides, automatique, systèmes thermiques (France),
- 5 - Vinci Autoroutes (France),
- 6 - SNCF Réseau (France),
- 7 - Railenium (France)

Les ouvrages d'art en milieu aquatique peuvent être menacés par des phénomènes érosifs, c'est notamment le cas des piles de ponts soumis à l'affouillement sous l'effet d'efforts hydrodynamiques qui peuvent être intermittents ou continus (Briaud, 2008). A terme, l'affouillement peut impacter la capacité portante de l'ouvrage et mener à sa ruine. Or les mécanismes en jeu dans ce processus érosif sont très difficiles à évaluer, surtout à l'échelle réelle (Delancet 2015). Dans ce domaine, le contexte est d'un côté celui d'une expertise scientifique et technique peu structurée au niveau français et nécessitant de surcroît une réactualisation et d'un autre celui d'une expertise internationale (ICSE 2002 à 2016) essentiellement fondée sur des connaissances empiriques. Le rapport «Evaluation of Bridge-Scour Research» (Sturm et al. 2011) souligne le besoin critique d'une part d'expérimentations hydrauliques en laboratoire et de modèles pour améliorer la compréhension des processus d'affouillements au contact des structures, et d'autre part la nécessité d'études in-situ et de dispositifs à demeure pour évaluer les phénomènes, notamment pendant les crues, évaluer les incertitudes des mesures et caler les modèles. Dans la perspective de dépasser cet empirisme, avancer sur l'amélioration des connaissances et proposer des méthodes optimisées de diagnostic, d'alerte et de gestion, le projet SSHEAR (« Sols, Structures et Hydraulique : Expertise et Recherche Appliquée », a pour objectif l'amélioration des connaissances sur les mécanismes d'affouillement et le développement d'outils novateurs d'observation et de modélisation aux échelles tant de maquettes expérimentales que d'ouvrages de taille réelle en vue de proposer des méthodes de diagnostic, d'alerte et de gestion. Il sera proposé, dans cette communication, de dresser un bilan des résultats les plus récents obtenus depuis le démarrage du projet en 2015 : développements expérimentaux et moyens d'essais ; modélisation numérique ; retours d'expérience et observations de terrain.

> **Mots clefs** : développements expérimentaux, affouillement, érosion, monitoring

.....

.....

.....

.....

■ 25-1. Comparaison de méthodes électriques sur un pilier de carrière souterraine

Dore Ludovic¹, Fargier Yannick²

1 - Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (France),

2 - IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (France)

En France, la dégradation naturelle des carrières souterraines peut mener à leur effondrement, provoquant ainsi des dommages potentiellement très importants. La résistance à la compression d'un pilier de carrière est liée à sa teneur en eau. Il est donc intéressant d'utiliser la résistivité électrique d'un pilier, qui dépend fortement de sa teneur en eau, pour identifier de potentielles zones de faiblesse. La présente étude, réalisée dans le cadre du projet EvaGEOH, propose de comparer deux méthodes de mesure de la résistivité d'un pilier. Le pilier étudié se trouve dans une ancienne carrière de calcaire, à Vendôme (Loir-et-Cher). La première méthode utilisée est la tomographie de résistivité électrique : trois ceintures horizontales de 64 électrodes chacune ont été implantées autour du pilier, avec un espacement de 35 cm. L'utilisation d'un modèle 3D photogrammétrique et du code ERESI ont permis d'obtenir un modèle de résistivité du pilier. Trois coupes, chacune correspondant à une ceinture, ont été extraites de ce modèle. La deuxième méthode consiste à utiliser un appareil de mesure de résistivité de surface. Il est constitué de 4 électrodes espacées d'environ 5 cm et permet une profondeur d'investigation d'environ 3 cm. Des mesures ont été effectuées à 7 hauteurs (espacement d'environ 25 cm entre chaque) tout autour du pilier (espacement horizontal de 40 cm). La première méthode a permis de mettre en évidence des différences de résistivité au sein du pilier. On observe qu'une fissure passe dans la zone la plus conductrice du pilier. L'interpolation des mesures obtenues par la seconde méthode donne des résistivités de surface cohérentes avec celles de la première méthode. La zone conductrice autour de la fissure est toujours visible. La première méthode, plus difficile à mettre en oeuvre, permet d'obtenir des résistivités pour l'ensemble du pilier. La seconde méthode, plus légère, ne donne des résultats qu'en surface, mais permet d'identifier une zone possiblement anormale. Les résultats obtenus dans les deux cas sont cohérents, ce qui suggère que la résistivité de surface pourrait être utilisée pour déterminer des piliers de carrières plus fragiles, piliers qui seraient ensuite étudiés plus en profondeur par la première méthode.

> **Mots clefs** : résistivité de surface, tomographie de résistivité électrique, carrière souterraine

■ 25-2. Proposition d'une nouvelle méthode d'interprétation des essais au vérin plat pour suivre l'évolution de contrainte dans des revêtements des galeries du Laboratoire Souterrain en Meuse/Haute-Marne

Vu Minh-Ngoc¹, Zghondi Jad¹, Armand Gilles¹, Vu Chi-Cong¹

1 - Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (France)

Dans le laboratoire de recherche souterrain de Meuse\Haute-Marne (LSMHM), l'Andra étudie le comportement de différents types de soutènement/revêtement afin d'apporter des éléments scientifiques et techniques pour le dimensionnement des ouvrages souterrains du projet Cigéo. Ces soutènements/revêtements sont instrumentés pour pouvoir suivre l'évolution des contraintes et des déformations et mieux appréhender l'interaction entre la structure en béton et la roche avoisinante. La technique du vérin plat est une mesure directe pour mesurer une contrainte locale à un instant donné. Elle consiste à réaliser un sciage dans la structure afin d'y introduire un vérin. La pression dans le vérin est alors augmentée afin de retrouver l'état de déformation avant sciage et ainsi mesurer la pression dans le vérin. Des corrections doivent être appliquées afin de corriger la mesure de pression et d'obtenir des estimations de la contrainte dans la structure. Il a été regardé l'intérêt de laisser les vérins plats en place pour suivre l'évolution des contraintes dans la structure en venant de temps en temps solliciter ces vérins plats. La méthode d'interprétation actuelle fondée sur ce déplacement de référence initial avant sciage ne peut plus être appliquée lors des mesures successives. Par ailleurs, la pression d'huile dans le vérin plat est uniforme alors que la contrainte orthoradiale varie dans l'épaisseur du revêtement et donc n'est pas constante sur la surface du vérin. L'objectif de ce travail est de proposer une méthode d'interprétation de l'essai au vérin plat afin de pouvoir suivre l'évolution de la contrainte dans la structure. Elle a été construite en tenant compte du fait que le déplacement de référence est connu lors de la première mesure et que les déplacements de référence successifs ont pu être déterminés à partir d'une modélisation par éléments finis. A la suite une solution semi-analytique décrivant la relation entre la pression d'huile dans le vérin plat et la contrainte dans le revêtement est proposée. Elle est utilisée ensuite pour corriger les différentes mesures réalisées au LSMHM. La comparaison avec la mesure d'autres types de capteurs permet de montrer que la méthode d'interprétation permet d'estimer de façon correcte la contrainte dans le revêtement.

> **Mots clefs** : revêtement, tunnel, LSMHM, interprétation, Vérin plat

■ 25-3. Diagnostic d'ouvrages hydrauliques en terre en milieu maritime par Contrôle Non Destructif et fusion des données

Gendrey Scarlett¹⁻², Garnier Vincent¹, Azemard Pierre², Payan Cédric¹

- 1 - Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique [Marseille] (France),
- 2 - Centre d'études et d'expertises sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - Direction Méditerranée (France)

Le projet DIGUE2020 a pour objectif d'améliorer la compréhension des phénomènes qui surviennent sur les digues maritimes grâce à la construction d'une plateforme de recherche in situ à taille réelle. Elle sera raccordée à un tronçon de la digue à la mer qui s'étend le long du littoral camarguais et sera constituée en partie de matériau naturel et de matériau traité à la chaux. La méthodologie proposée pour repérer les anomalies susceptibles de se produire au sein de l'ouvrage repose sur l'utilisation du contrôle non destructif. Les méthodes géophysiques permettent de retrouver les propriétés d'un milieu à partir de données indirectes et impliquent un nombre non négligeable d'observables qui permettent de caractériser les ouvrages hydrauliques en terre. Dans le cadre de cette thèse, l'approche adoptée s'appuie dans un premier temps sur une étude en laboratoire avec pour objectif la construction d'un catalogue de signatures. Les observables considérées sont la résistivité apparente, r_a , la vitesse des ondes de cisaillement, V_s , et la permittivité, ϵ . Elles seront évaluées en fonction d'indicateurs, que sont le teneur en eau massique, w , la masse volumique apparente sèche, gd , rapportée à la masse volumique apparente sèche à l'Optimum Proctor Normal, gd_{OPN} , le dosage en chaux vive, la teneur en sel(s). L'établissement de lois entre les observables et les indicateurs permettra de quantifier la sensibilité de la mesure non destructive à tout changement dans l'évolution de l'indicateur. Déterminées sur plusieurs échantillons, ces lois permettront d'identifier les modèles de conversion qui seront ensuite recalés sur les mesures réalisées in situ par TRE (Tomographie de Résistivité Électrique), MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) et radar géologique, afin de faire le lien entre l'évolution des observables en milieu contrôlé et sur la plateforme in situ. La fusion de données permettra d'associer les données issues de chacune des méthodes. La combinaison des relations entre les observables et les différents indicateurs permettra d'obtenir les distributions de possibilité. Si les distributions se coupent en un même point alors toutes les observables pointent vers la même anomalie. Cette démarche sera calibrée sur les échantillons en laboratoire et appliquée in situ sur la plateforme.

> **Mots clefs** : radar géologique, MASW, plateforme de recherche in situ, Contrôle Non Destructif, TRE, fusion de données, digue maritime

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 26-1. Prise en compte des effets de l'interaction sol structure dans la justification de la portance sismique d'un radier général

Abboud Youssef¹, Burlon Sébastien¹, Semblat Jean-Francois¹, Cuira Fahd²

- 1 - IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (France),
- 2 - Terrasol (France)

La justification sismique des fondations superficielles demeure un enjeu important pour la sécurité des ouvrages. Cette justification nécessite la prise en compte de nombreux aspects, notamment l'interaction sol structure y compris dans le domaine non linéaire. Négliger ces aspects peut éventuellement conduire à des incohérences dans la conception des ouvrages en zone sismique et ne nous place pas nécessairement du côté de la sécurité. Dans ce contexte, cet article présente une approche alternative pour la justification d'un radier sous charge sismique, tenant compte des effets de l'interaction sol structure et des non linéarités associées. Cette approche est basée sur le concept du macroélément et a été développée dans le cadre du projet de réévaluation de la sûreté nucléaire en France métropolitaine suite à l'accident de Fukushima en 2011. L'étude concerne un bâtiment fondé sur un radier général et soumis à un ensemble de signaux sismiques dont le PGA est égal à 0.4 g. L'approche développée permet de renseigner sur l'évolution temporelle des efforts et des déplacements au niveau du radier du bâtiment. Les résultats sont comparés à ceux issus des approches analytiques conventionnelles. Ensuite, la variabilité temporelle du coefficient de sécurité est analysée en étudiant le temps durant lequel la valeur de ce coefficient devient inférieure à une limite prescrite. Un nouvel indicateur de stabilité pour les fondations superficielles est alors proposé.

> **Mots clefs** : coefficient de sécurité, macroélément, non linéarité, interaction sol structure, calcul sismique, fondation superficielle

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ 27-3. Variabilité de la microstructure d'un shale: caractérisation quantitative et modélisation

Fauchille Anne-Laure¹⁻²⁻³, Van Den Eijnden Bram⁴, Ma Lin²,
Chandler Michael⁵, Taylor Kevin⁶, Madi Kamel⁶, Lee Peter²⁻¹, Rutter Ernest⁵

1 - Research Complex at Harwell, Rutherford Appleton Laboratory, Didcot Oxon (Royaume-Uni),

2 - Université de Manchester, X-Ray Imaging Facility, School of Materials (Royaume-Uni),

3 - Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (France),

4 - Faculty of Civil Engineering and Geoscience, Delft University of Technology (Pays-Bas),

5 - School of Earth and Environmental Sciences, Université de Manchester (Royaume-Uni),

6 - 3Dmagination, Fermi Avenue, Harwell Oxford, Didcot (Royaume-Uni)

La microstructure des shales est hétérogène de l'échelle du décimètre au nanomètre. Le comportement mécanique d'un shale à l'échelle macroscopique est dépendant du comportement mécanique de ses composants à des échelles plus petites (échelles de la microstructure), dû à la formation de la roche, à l'arrangement de ses composants, mais aussi à la variabilité de ses composants (matrice argileuse, quartz, carbonates, micas, matière organique, etc...). Malgré la complexité de ce matériau, les enjeux économiques actuels liés au stockage de déchets nucléaires, à l'extraction de gaz naturel ou au stockage de gaz dans des gisements épuisés, ont encouragé les géomécánicos à caractériser de manière fine sa microstructure pour établir une « microstructure modèle », utilisable pour des simulations numériques qui permettront d'anticiper le comportement mécanique de la roche à des échelles supérieures. L'étude présentée ici est composée de la caractérisation expérimentale de la microstructure d'un shale européen de l'échelle du μm au mm (échelle d'inclusions rigides contenues dans une matrice homogène) à partir d'une mosaïque d'images MEB, de la quantification des échelles d'hétérogénéité de paramètres caractérisant sa microstructure, et l'élaboration d'un modèle géométrique de microstructure à partir des points précédents. L'étude des échelles d'hétérogénéité des paramètres caractérisant la microstructure de la roche a permis de mieux quantifier la représentativité du modèle utilisé. A long terme, ce type de modèle a pour but d'être utilisé en modélisation d'éléments finis au carré (EF2) pour prédire la localisation des déformations et des fissures lors de chargements mécaniques en considérant des hétérogénéités minéralogiques et interfaces multi-échelles. Le shale de Bowland (Lancashire, UK) est pris comme exemple dans cette étude.

> **Mots clefs** : microstructure, modélisation, caractérisation quantitative, shale, Voronoï

POSTERS

Ecole nationale des sciences géographiques

Ecole nationale des ponts



■ Poster-4. Valorisation d'un mélange de marne et de déchets plastiques dans la construction routière

Boudlal Omar¹, Ouali Leticia¹

1 - Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (Algérie)

Les différentes activités industrielles actuelles de l'homme ne cessent de générer des quantités indénombrables de produits. Les emballages (plastiques, verre, bois...) constituent sans doute une proportion non négligeable. Après utilisation, ces matériaux sont généralement jetés dans la nature, ou au mieux abandonnés dans des décharges non appropriées notamment dans les pays en voie de développement tels que l'Algérie. Depuis le début du XXI^e siècle, beaucoup de matériaux, notamment les matériaux inertes, ont fait l'objet du recyclage. La présente étude s'inscrit dans le cadre général du recyclage, et de la valorisation des matériaux recyclés dans le domaine du génie civil, particulièrement, des travaux publics. Elle fait partie d'un projet de recherche global, entamé sur le recyclage des déchets inertes. Elle a pour objectif principal, la réutilisation des déchets plastiques dans les corps de chaussées (couches inférieures). Dans le but d'étudier leur comportement sous différents types de sollicitations auxquels ils seront soumis en pratique (sous le trafic routier), des mélanges de granulats naturels avec différentes proportions (de 1% à 7%) de déchets plastiques (copeaux de pastiques inférieurs à 20mm) sont d'abord identifiés, ensuite soumis à plusieurs séries d'essais mécaniques, à savoir, les essais de compactage au Proctor modifié, les essais de portance CBR avant et après immersion, les essais de fragmentabilité et de dégradabilité, ainsi que les essais Los-Angeles et Micro-Deval. Les expériences réalisées ont montré certains résultats très intéressants, permettant de proposer l'utilisation des déchets plastiques dans la construction routière comme une alternative fiable et rentable sur le volet économique et environnemental. C'est une opération innovatrice permettant de conserver les gisements de carrière et d'éliminer des tonnes de déchets plastiques leurs confèrent ainsi un caractère de matière première dans le développement des réseaux routiers. Cependant, le traitement des déchets en Algérie est encore loin des normes souhaitées par les autorités. Il convient alors, de déployer des efforts substantiels et des actions concertées des différents acteurs économiques, (administrations et chercheurs) pour encourager le développement de cette technique nouvelle ; commençant par une large campagne de sensibilisation de la population et l'installation de décharges sélectives pour faciliter le tri des déchets.

> **Mots clefs** : construction routière, valorisation, comportement, mélanges, marne, déchets plastiques

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

■ Poster-5. Installation d'un forage vertical instrumenté dans la basse vallée du Var (Nice)

Dufour Nathalie¹, Payeur Jean-Baptiste¹, Bertrand Etienne¹, Mercerat Diego¹, Regnier Julie¹, Vancaenenbroeck Vincent², Alliaume Morgan², Capelle Frederic², Langlaude Philippe¹, Pernoud Michel¹, Calissano Helene¹, Batilliot Laurent¹, Coudert Marlene¹

1 - Cerema, UMR 7329 GEOAZUR (France),

2 - Cerema - DterNP (France)

Par son contexte géodynamique, sa géométrie extrême, sa concentration d'enjeux humains, urbains et économiques, la région niçoise constitue un laboratoire naturel pour étudier les risques naturels. C'est en particulier vrai pour le risque sismique, la région étant une des plus concernée en France métropolitaine.

Un des objectifs du projet PORTE, soutenu par la région PACA et le fonds européen FEDER, est la création d'une plateforme technique et innovante dédiée à l'observation environnementale de la région. Dans ce cadre, nous proposons la réalisation d'un réseau vertical sismologique dans la basse vallée du Var à Nice. La vallée fait moins d'1 km de large et des études géotechniques antérieures ont montré que le substratum pouvait atteindre localement des profondeurs de 150 m.

Nous commençons par réaliser des essais in-situ et en laboratoire pour caractériser le site. Des mesures géophysiques (MASW et AVA) ont permis de mettre en évidence un profil de vitesse des ondes S tandis que les essais en laboratoire montrent le comportement dynamique des alluvions de la basse vallée du Var. Ainsi, sur le site d'étude, le substratum constitué de marnes du Pliocène se situe à une trentaine de mètres de profondeur, les mesures de vitesse des ondes de cisaillement amènent à une valeur de Vs30 proche de 370 m/s et la fréquence fondamentale associée, provenant de la méthode H/V appliquée aux mesures de vibrations ambiantes, est proche de 2,5 Hz. Le sol est principalement composé de couches sableuses saturées incluant des graviers. Dans quelques mois, une instrumentation combinant des accéléromètres et des velocimètres sera mis en place à trois profondeurs (surface, -11 m et -31 m) et permettra l'enregistrement en continu de l'activité du site, entre et durant les crises sismiques. L'instrumentation sera complétée par des capteurs de pression interstitielle.

> **Mots clefs** : dynamique, caractérisation géotechnique, forage instrumenté

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ACCÈS AU CAMPUS ÉCOLE DES PONTS IFSTTAR



Accès par les transports en commun (RER A)

Le campus est à 30 min du centre de Paris et à 20 min de la gare TGV de Chessy - Marne-la -Vallée

Depuis Paris : Ligne RER A, en direction de Torcy - Marne-la-Vallée – Chessy Station **Noisy-Champs**, sortie 3 (tête de train) - Tarification spéciale - puis 10 min de marche vers le 9 Bd Copernic.

Les transports dans Paris et sa banlieue : <https://www.ratp.fr/>

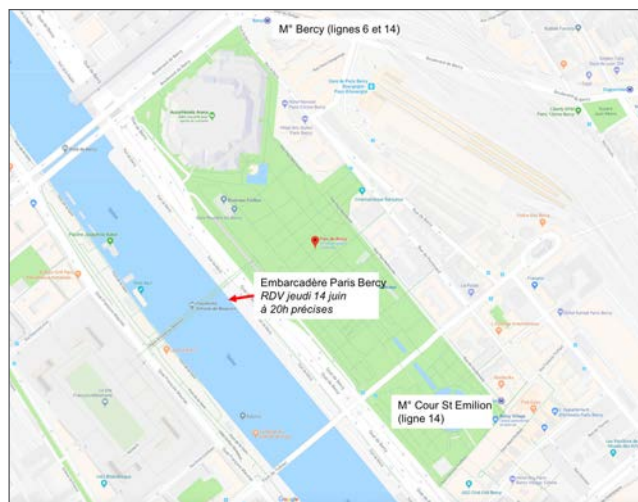
Accès par l'autoroute A4

Autoroute A4, sortie 10 - Marne-la-Vallée - Champs-sur-Marne - Cité Descartes


Entrée du campus face au n°9 boulevard Copernic

DÎNER DE GALA

Rendez-vous à 20h précises à l'embarcadere de Paris-Bercy (métros Bercy ou Cour St Emilion)



jngg
2018



13 - 15
Juin 2018

ECOLE DES
PONTS PARISTECH
IFSTTAR
MARNE LA VALLÉE

<https://jngg2018.sciencesconf.org/>