



Journée technique CFMR/AGAP Qualité

DE LA GÉOPHYSIQUE A LA GEOTECHNIQUE

Jeudi 2 juin 2016

Au CNAM

292 rue Saint-Martin à PARIS

amphi C, accès 16

Inscription et programme provisoire

OBJECTIFS

Une journée scientifique est organisée en partenariat entre le Comité Français de Mécanique des Roches et l'Association de Géophysique Appliquée

L'objectif de cette journée technique est de présenter les processus techniques qui lient la géophysique appliquée avec la géotechnique. Il s'agit en particulier de présenter (a) les problèmes géotechniques posés par la maîtrise d'ouvrage, les choix des méthodes géophysiques pour y répondre et finalement les éléments qu'elles ont ou non apportées et plus spécifiquement (b) les apports de la géophysique appliquée à la reconnaissance des massifs rocheux et des ouvrages associés.

Inscription :

- **Entrée gratuite sur inscription préalable**
- **Date limite pour les inscriptions : 19 mai 2016**

AGAP Qualité est une association créée en 1992. AGAP Qualité regroupe des donneurs d'ordres, des prestataires géophysiques, des fabricants de matériel et des scientifiques. La mission principale de l'AGAP Qualité consiste à promouvoir la bonne utilisation des méthodes de géophysique appliquée en termes de qualité du service rendu au client.

Le Comité Français de Mécanique des Roches (CFMR) est une association fondée en 1967. Il a pour but de promouvoir les études intéressant directement ou indirectement la Géotechnique, la Mécanique et la Physique des Roches et d'en diffuser les résultats. Une commission scientifique et technique est chargée de mener une réflexion sur l'innovation technologique et les retours d'expériences, les questions scientifiques émergentes ainsi que sur le rôle de l'éducation.



Journée Géophysique/Géotechnique - Paris 2016 Programme Prévisionnel

9h30 – 9h45	<u>Accueil des présidents</u>	Frédéric Pellet (CFMR) Jean-Paul Blais (AGAP)
9h45-12h30	Session « Apport de la géophysique aux questionnements de la géotechnique »	
9h45-10h15	Objectifs et attentes d'un donneur d'ordre	Daniel Robert (Total)
10h15-10h45	Prise en compte des objectifs par le géophysicien et choix des méthodes	Christian Hérisson (Cathie associates)
10h45-11h00	Pause	
11h00-11h30	Etudes géotechniques et géophysiques pour une nouvelle installation nucléaire du CEA	Aline Dechamp (CEA)
11h30-12h10	Attentes des géotechniciens et échecs de la géophysique	Frank Rivière (Fondasol)/ Laurent Frobert (Tractebel)
12h10-12h30	<u>Discussion</u>	
12h30-14h00	Repas libre	
14h00-17h30	Session « La géophysique à toutes les échelles d'espace de la géotechnique »	
14h00-14h40	Caractérisation multi-échelle d'un réservoir carbonaté proche de la surface	Jean-Luc Mari (IFP-EN)
14h40-15h20	Caractérisation et surveillance géophysique des instabilités rocheuses	Denis Jongmans (ISterre)
16h00-16h10	Pause	
15h20-16h00	Surveillance des ouvrages souterrains	Philippe Côte (Iffstar)
16h10-16h50	Suivi optique du comportement mécanique des ouvrages souterrains	Stéphen Hédan (IC2MP-Université de Poitiers)
16h50-17h30	<u>Table ronde et clôture de la journée</u>	

Comité d'organisation : Philippe Cosenza (ENSI Poitiers), Aline Dechamp (CEA), Christian Hérisson (Cathie associates), Cyrille Balland (INERIS)

Objectifs et attentes d'un donneur d'ordre

Daniel Robert (TOTAL), daniel.robert@total.com

Aux toutes premières étapes d'un projet de construction industrielle, le donneur d'ordre doit se poser la question de l'utilité d'une étude de sol, qu'elle soit à terre ou en mer. Il apparaît très rapidement qu'une étude d'ingénierie va permettre d'évaluer les risques géologiques et anthropiques pour, finalement, réduire les incertitudes et contrôler les risques et coûts associés. Quelques exemples d'accidents de terrains et de dégâts aux structures sont présentés ainsi qu'une adaptation d'un plan-masse aux impératifs géologiques.

La présentation est articulée autour des différentes phases d'une étude d'ingénierie. Dans un premier temps, une étude bibliographique permettra de collecter les informations existantes sur la zone, les analyser et les recouper pour émettre des recommandations. Une visite de site confirmera ou ajustera les conclusions de l'étude bibliographique. Dans un deuxième temps, une campagne topographique suivie d'une reconnaissance géologique et hydrologique devra être réalisées afin d'établir une base de travail robuste. Fort de cette connaissance régionale et des conditions réelles de terrain, le donneur d'ordre établira la meilleure stratégie pour réaliser l'étude géophysique et définir le panel de méthodes disponibles, leurs applications, leurs performances et leurs limitations. Quelques exemples d'acquisition géophysique seront présentées et commentées. Le rendu de l'étude géophysique, à savoir le traitement des mesures et leur interprétation (interprétation « géophysique » à ce stade) est une étape de la plus haute importance dans le déroulement du projet. Quelques exemples de résultats géophysiques seront exposés, ainsi que la juxtaposition de résultats issus du panel de méthodes. Un des buts majeurs de l'étude géophysique est d'optimiser la campagne d'échantillonnage géotechnique. Les données de la campagne géotechnique (logs de sondages, description de carottes, enregistrements CPT, essais de laboratoires) seront intégrées aux résultats de la géophysique. Cette phase d'intégration est la plus valorisante de l'étude d'ingénierie. C'est celle qui permet d'obtenir une interprétation synthétique, et de conduire à un modèle géologique unique de la zone. Cette intégration peut prendre plusieurs formes. Elle peut, tout simplement, consister en une calibration des mesures géophysiques par les données géotechniques, mais il sera également évoqué la fusion de la géophysique dans la géotechnique, et inversement.

La finalité de la présentation est de démontrer l'absolu nécessité d'entreprendre une étude d'ingénierie en avant-projet, intégrant étroitement la géophysique et la géotechnique, en respectant un protocole d'enchaînement des différentes phases.

Prise en compte des objectifs par le géophysicien et choix des méthodes

Christian Hérisson (Cathie-Associates, christian.herisson@cathie-associates.com)

Les objectifs et les attentes d'une campagne géophysique et géotechnique sont la première étape de réflexion du donneur d'ordre, qu'il soit géophysicien, géotechnicien ou plus généralement utilisateur de géosciences. La démarche de pensée du donneur d'ordre est développée dans la première présentation de cette Journée Technique.

Lorsque l'appel d'offre du donneur d'ordre arrive chez le prestataire, la toute première action est de prendre en compte le calendrier de remise des offres, qui doit être scrupuleusement respecté.

Dans un deuxième temps, il est impératif de bien comprendre les objectifs du donneur d'ordre. Au besoin, il est indispensable de demander des clarifications à ce dernier. L'appel d'offre peut laisser la sélection de méthodes au prestataire. Dans d'autres cas, le donneur d'ordre peut avoir fait sa propre sélection. Il conviendra, dans ce cas, d'évaluer ses choix et de réorienter – diplomatiquement – cette sélection si elle s'avérait inappropriée.

Lorsque l'accord entre donneur d'ordre et prestataire est établi, le choix des méthodes et techniques sera guidé par divers critères.

Les premiers critères à prendre en compte seront les objectifs de profondeur d'investigation et de résolutions verticale et latérale. Les accès joueront un grand rôle pour le choix des techniques d'acquisition terrestres, et éventuellement aériennes. La maille de couverture est un critère qui devra satisfaire les résolutions et la rapidité d'intervention. Il sera essentiel de considérer toutes les contraintes (légalles, environnementales, humaines, de mobilisation et de disponibilité des équipements). Il sera, bien sûr, indispensable de confronter les méthodes sélectionnées à l'environnement géologique pouvant conduire à des limitations et interdictions. Si l'on s'oriente vers une acquisition aérienne ou en milieu aquatique, des contraintes spécifiques s'ajouteront à celles évoquées ci-dessus. Enfin, le choix d'une méthode ne doit pas se cantonner à l'aspect acquisition de données ; il conviendra d'évaluer les difficultés, la rapidité et la résolution du traitement et de l'interprétation.

En conclusion, le prestataire doit jouer un rôle de conseil au donneur d'ordre, lors de cette phase. La sélection doit se faire en toute transparence et les choix doivent être justifiés. Des choix alternatifs seront proposés et argumentés. Il est très probable que le choix final soit un compromis acceptable entre les diverses contraintes.

Etudes géotechniques et géophysiques pour une nouvelle installation nucléaire du CEA

Aline Dechamp (aline.dechamp@cea.fr CEA, DAM, DIF, 91297, Arpajon, France)

La reconnaissance présentée s'inscrit dans un cadre général de sûreté d'un projet de construction. Des investigations géophysiques ont été inscrites dans la reconnaissance globale des sols afin d'accompagner les reconnaissances géotechniques, pour des objectifs bien ciblés :

- S'assurer qu'il n'y a pas de vides ou des cavités dans le sous-sol du site d'implantation, de tailles susceptibles à mettre en péril la stabilité des futures installations.
- Améliorer l'étude structurale du site d'implantation.

Les besoins/objectifs ont été exprimés par les chargés d'affaires maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrages du CEA, et traduits en termes de définition de programme et méthodologie par des géologues/géophysiciens, appuis techniques du MOE. La méthodologie retenue s'appuie sur la prise en compte des données géologiques et géotechniques existantes, l'intégration des observations réalisées lors des travaux de terrassements, les études d'anomalies potentiellement impactantes (gabarits discriminants vis-à-vis des futures installations) et choix des techniques géophysiques les plus adaptées en adéquation avec ces objectifs et les propriétés du terrain d'investigation.

Plusieurs méthodes géophysiques ont été mises en œuvre : la microgravimétrie et le radar géologique pour la détection des vides et désordres structuraux, la tomographie électrique et la sismique réflexion très haute résolution pour la localisation des ensembles/ discontinuités structuraux et leurs natures.

La synthèse des reconnaissances géophysiques, couplées aux données géotechniques parallèles a abouti à un second zonage du terrain, sur lequel ont été réalisés des forages de contrôle afin de préciser la nature et l'extension des principales anomalies détectées par géophysique et, et ainsi pouvoir statuer sur les précautions qu'il convient d'adopter en fonction des conclusions (amélioration du modèle de sol pour le dimensionnement sol/structure et les calculs de tassement ...).

Attentes des géotechniciens et échecs de la géophysique

F. Riviere (FONDASOL Département Géophysique), L. Frobert (TRACTEBEL Engineering)

Afin de pouvoir juger de la réussite ou de l'échec d'une mission géophysique il est bon de rappeler le déroulement d'une mission :

- La consultation (CCTP, CDC,) du donneur d'ordre ;
- La proposition technique et commerciale du prestataire ;
- L'acceptation de la proposition par le donneur d'ordre ;
- La réalisation de la mission et la remise d'un rapport par le prestataire.

L'attente du géotechnicien doit s'exprimer de façon précise et concise dans la consultation, et la proposition du prestataire doit répondre à cette attente de façon claire et argumentée. Et par l'acceptation de cette proposition, le géotechnicien espère que le géophysicien lui apportera les réponses qu'il attend.

L'échec de la géophysique à répondre au problème posé peut avoir plusieurs causes. Bien souvent, cet échec est du à, un manque total de règles (pas de consultation écrite), un cahier des charges imprécis ou pas suffisamment détaillé, une proposition technique incomplète ou ne répondant pas au problème, la réalisation de la mission par un prestataire non compétent, un manque de communication entre géophysicien et géotechnicien lors du traitement et de l'analyse des données.

Plusieurs cas d'études considérés comme des échecs seront présentés et commentés. Ces retours d'expérience permettent d'apporter des éléments de réponses sur la cause de ces échecs.

Caractérisation multi-échelle d'un réservoir carbonaté proche de la surface

Jean-Luc Mari, (Institut Français du Pétrole Energies Nouvelles IFPEN, Rueil-Malmaison, France, jean-luc.mari@ifpen.fr) Gilles Porel, (CNRS IC2MP UMR 7285, Université de Poitiers, France, gilles.porel@univ-poitiers.fr)

Situé 2 km à l'Est du Campus Sciences de l'Université de Poitiers, le Site Expérimental Hydrogéologique (SEH) couvre une superficie de 12 hectares sur des terrains appartenant à l'Université. D'un point de vue géologique, le SEH est implanté sur le versant nord du « Seuil du Poitou », vaste plateau carbonaté Mésozoïque marquant la transition entre les bassins sédimentaires Aquitain et Parisien. Les calcaires jurassiques, qui reposent sur un socle cristallin Hercynien, renferment deux aquifères superposés : (i) l'aquifère du Lias inférieur et moyen (de 5 à 10 m d'épaisseur), et (ii) l'aquifère du Dogger (100 m d'épaisseur). Ces deux aquifères sont séparés par l'aquitard marneux du Toarcien (20 m d'épaisseur). Les études menées sur le SEH se focalisent essentiellement sur l'aquifère du Dogger. Le dispositif expérimental comprend aujourd'hui 35 forages, dont deux forages carottés verticaux et deux forages carottés obliques. Les forages du SEH sont soit non tubés, soit équipés de tubages crépinés sur toute l'épaisseur de l'aquifère du Dogger. Le niveau piézométrique dans les forages correspond donc à une charge hydraulique moyenne sur l'épaisseur de l'aquifère. En conditions d'écoulement naturel, les niveaux piézométriques varient de 15 m à 25 m par rapport à la surface du sol. Deux forages supplémentaires ont été réalisés jusqu'au socle cristallin (environ 160 m de profondeur), afin de pouvoir enregistrer les charges hydrauliques dans l'aquifère du Lias inférieur et moyen lors des tests hydrauliques réalisés dans les autres forages. Aucune perturbation de charge n'a jamais été observée dans l'aquifère du Lias inférieur et moyen, démontrant ainsi que les deux aquifères sont bien isolés l'un de l'autre par les marnes toarciennes.

Depuis 2002, les investigations menées sur le SEH ont permis de recueillir une importante quantité de données sur l'aquifère du Dogger concernant: la structure géologique du réservoir ; les propriétés pétrophysiques des roches carbonatées; la structure des écoulements dans les forages; la dynamique de la nappe en conditions d'écoulement "naturel" et/ou forcé.

En 2004, une caractérisation très haute résolution de l'hétérogénéité du réservoir a été entreprise sur la base d'expériences géophysiques (sismique 3D). Le bloc sismique 3D très haute résolution (THR : 10-180Hz) a confirmé la présence de 3 niveaux karstiques caractérisés par des porosités sismiques supérieures à 30%. L'analyse croisée des données de débitmétrie verticale et des imageries de parois des forages indique que les écoulements sont principalement associés à des structures karstiques subhorizontales et des fractures subverticales. Les niveaux karstiques sont irrégulièrement répartis sur le SEH mais apparaissent fortement corrélés avec des niveaux stratigraphiques précis (-50m, -85m, et -110 m au niveau du SEH). La connectivité hydraulique des différents niveaux karstiques horizontaux semble assurée par la fracturation verticale des calcaires. La distribution verticale des pseudo-vitesses sismiques montrent de fortes corrélations avec les données de débitmétrie verticale dans les forages, les zones de faibles vitesses correspondant aux niveaux de forte perméabilité relative.

En 2014, des diagraphies acoustiques en champ total ont été enregistrées dans 11 puits pour valider localement les résultats obtenus par la méthode sismique (3D-THR) et pour évaluer le potentiel de la méthode acoustique à détecter les corps karstiques avec une très haute résolution (0.25 m en profondeur).

En 2015, des mesures de bruit ambiant et des PSV (profils sismiques verticaux) avec hydrophone ont été enregistrés dans les 11 puits dans le but d'évaluer le potentiel de ces mesures de puits à détecter des écoulements dans les niveaux karstiques.

Le papier présente les résultats des différentes expérimentations. Les conclusions de l'étude sont :

- Le bloc 3D-THR peut être utilisé pour construire un modèle 3D du réservoir
- Sur les données PSV, on observe des conversion d'onde de volume (P) en ondes de Stoneley au toit des niveaux producteurs (niveaux karstiques)
- Les variations spectrales du bruit ambiant sont fortement corrélées avec les mesures de d'écoulement et les conversions d'onde.
- La sismique 3D THR, les diagraphies acoustiques en champ total, les PSV avec hydrophone, les mesures de bruit ambiant conduisent à une description multi-échelle du réservoir carbonaté.
- L'analyse du bruit ambiant et la conversion d'ondes P en ondes guidées (Stoneley) pourraient être utilisées pour détecter les écoulements de fluide (comparaison avec des mesures de débit).

Pour plus d'information : <http://books.ifpennergiesnouvelles.fr/ebooks/signal-processing/>

Caractérisation et surveillance géophysique des instabilités rocheuses

Denis Jongmans (ISterre)

Les éboulements affectant les falaises rocheuses sont des évènements soudains qui peuvent provoquer des dégâts considérables et générer des pertes en vies humaines, en fonction de leur localisation et de leurs caractéristiques. Des études en retour sur des dizaines d'éboulements dans des roches calcaires ont montré que le pourcentage de ponts rocheux était un des paramètres principaux à prendre en compte pour évaluer la probabilité de rupture. L'évaluation de la persistance des fractures en profondeur peut être réalisée à partir de profils radars (GPR) en falaise. Cependant, cette technique ne peut être déployée que sur des sites présentant des roches résistives et des parois suffisamment sécurisées. Une autre stratégie est d'enregistrer le bruit de fond sismique sur l'écaille et d'en déduire des paramètres caractéristiques, comme les fréquences de résonance et les rapports spectraux pour une station unique (H/V) ou deux stations (He/Hm) placées sur l'écaille et sur le massif. Une étude de modélisation numérique a permis d'identifier les paramètres les plus pertinents pour évaluer le degré de découplage de l'écaille par rapport au massif. Ces résultats théoriques ont été confrontés à des mesures réalisées sur site. Les mêmes paramètres issus du bruit de fond sismique peuvent aussi être utilisés pour assurer une surveillance de l'évolution de l'écaille vers la rupture.

Surveillance de l'environnement d'ouvrages souterrains.

Ph. Côte (IFSTTAR), M. Hayet (ANDRA), O. Magnin (TERRASEIS), A. Joubert (IFSTTAR), M. Le Feuvre (IFSTTAR), B. Lacaille (EGIS)

Le creusement de galeries souterraines provoque l'apparition d'altérations au pourtour des zones excavées. Dans ces zones, les reports de contraintes et la mise à l'air des parois provoquent des modifications notamment de l'état hydrique et de la fissuration plus ou moins importantes suivant la nature de l'encaissant.

Dans le cadre des études sur la sûreté des stockages de déchets radioactifs au sein de formations géologiques, une expérimentation a été mise en place pour étudier les effets :

- d'une mise en compression mécanique de la zone perturbée
- d'un déconfinement brutal ou progressif
- de l'hydratation contrôlée du massif avec ou sans mise en compression.

Parmi les différentes techniques d'observation figure un dispositif géophysique « semi-pérenne ». Il est constitué de trois forages coplanaires et horizontaux (d'axe parallèle à celui du vérin de mise en compression). Une série de capteurs accélérométriques a été installée dans le forage central et noyée dans un coulis. Les deux autres forages sont configurés afin de pouvoir procéder à des tirs d'inflammateurs. Des acquisitions tomographiques peuvent ainsi être réalisées relativement rapidement et aisément. Les comparaisons des images obtenues avant et après, les paliers de compression ou les phases d'hydratation, permettent de localiser et de quantifier les conséquences dans le massif et la zone perturbée de ces différentes actions.

Suivi optique du comportement mécanique des ouvrages souterrains

Stephen Hedan (Université Poitiers/UMR7285 CNRS IC2MP, ENSI Poitiers)

Les roches argileuses sont actuellement considérées pour le stockage en formations géologiques profondes des déchets hautement radioactifs. Parmi les questions cruciales liées à l'évaluation de la sécurité à long terme de ces dépôts géologiques, l'étude de la zone endommagée (EDZ) autour des ouvrages est d'une importance particulière. L'ouverture et l'extension de l'EDZ sont régies par de nombreux paramètres : les propriétés du matériau de la roche, le champ de contrainte initial, l'existence de zones de fractures naturelles dans le massif rocheux, la géométrie de la galerie, et l'état hydrique existant dans la galerie. En ce qui concerne l'étude du comportement hydromécanique des roches argileuses, le suivi optique par méthodes optiques de mesure de champ est en plein essor.

Les objectifs de cette communication sont (i) de présenter quelques méthodes d'imagerie (scanner 3D, photogrammétrie, etc.) déjà appliquées sur des ouvrages souterrains ainsi que les méthodes optiques de mesure de champ permettant ainsi de mettre en lumière les forces et les limites de chaque méthode et (ii) de montrer deux études menées dans le laboratoire souterrain de Meuse/Haute Marne (ANDRA) et dans la station expérimentale de Tournemire (IRSN) sur l'étude du comportement hydromécanique des roches argileuses. Ces études ont été menées sur des périodes allant de 5 à 12 mois et sur des surfaces mesurant respectivement $34.4 \times 27.5 \text{ cm}^2$ et $55 \times 43.9 \text{ cm}^2$. Ces travaux montrent que la spatialisation des résultats issue des méthodes optiques de mesure de champ permet de quantifier le nombre de fissures, l'orientation et l'ouverture de chaque fissure, mais aussi la mesure des déformations dans les directions parallèle et perpendiculaire au litage et donc l'évaluation de l'anisotropie des déformations hydromécaniques des roches argileuses.

BULLETIN D'INSCRIPTION
JOURNÉE TECHNIQUE du 02 Juin 2016, Paris

à retourner avant le **19 mai 2016** au

Secrétariat de l'AGAP qualité (de préférence par courriel):

IFSTTAR
GERS /AGAP-Qualité, Mme NEDELLEC
CS4
44344 BOUGUENAIS Cedex Fr.

Courriel : agap@ifsttar.fr

Tel : 02 40 84 59 81

Remplir un bulletin par personne inscrite

Nom : _____ Prénom : _____

Société ou organisme : _____ Fonction : _____

Adresse postale : _____

e-mail : _____ Téléphone : _____