

MÉTHODES DE CARACTÉRISATION DE LA SOUS-SURFACE GEO 1502

Cours de terrain du 6 au 12 septembre 2016

Ville de Québec et les environs, incluant une excursion dans
Charlevoix et un séjour près de Tadoussac (Camp CIRSA - Sacré-Cœur)

Cours crédité offert pour les programmes de sciences de la Terre à l'INRS et l'Université Laval,
ainsi qu'à titre d'**étudiant libre** pour les participants de l'extérieur (maximum 15 personnes)

PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIF

La protection des aquifères superficiels et l'évaluation du potentiel énergétique des réservoirs profonds demandent de bien connaître les caractéristiques de la sous-surface. Ces dernières sont évaluées à l'aide de méthodes de terrain en géologie, géophysique et hydrogéologie. L'objectif de ce cours sera de permettre aux participants de se familiariser avec les méthodes de caractérisation appliquées aux ressources en eau souterraine et réservoirs profonds (pétrole, gaz, CO₂, géothermie). À travers différents ateliers de terrain effectués dans la région de Québec, les participants réaliseront des levés de géologie structurale, des sondages avec les méthodes électriques et la tomographie par géoradar, le forage d'un puits d'observation, l'échantillonnage de l'eau souterraine ainsi que des essais de perméabilité et de conductivité thermique.

APERÇU DES ACTIVITÉS

Jour 1 – Essais de conductivité thermique en géothermie (Labos lourds, Québec)

Jour 2 – Forage et échantillonnage des sols et de l'eau souterraine (Labos lourds, Québec)

Jour 3 – Levés de géologie structurale et exploration pétrolière (région de Québec et environs)

Jour 4 – Excursion géologique et géophysique dans Charlevoix

Jour 5 – Méthodes électriques et tomographie géoradar (camp CIRSA, Sacré-Cœur)

Jour 6 – Interactions eau de surface et eau souterraine (camp CIRSA, Sacré-Cœur)

Jour 7 – Traçage de l'eau souterraine (camp CIRSA, Sacré-Cœur)



Examen **ORAL** au retour

MODALITÉS D'INSCRIPTION

- Étudiants de l'INRS
 - Choisir le cours GEO 1502 dans le système IDÉ :
<https://portail.adm.inrs.ca/ide/portail/index.html>
 - Compléter la feuille d'inscription à la fin du plan de cours et envoyer un paiement additionnel (200\$) pour les frais d'hébergement (CIRSA) et de transport sur le terrain au Service des finances de l'INRS
- Étudiants de l'Université Laval et d'autres établissements universitaires du Québec
 - Remplir une demande d'Autorisation de cours hors établissement au BCI:
<http://www.crepuq.qc.ca/>
 - Compléter la feuille d'inscription à la fin du plan de cours et envoyer un paiement additionnel (200\$) pour les frais d'hébergement (CIRSA) et de transport sur le terrain au Service des finances de l'INRS
- Étudiants de l'Université de Rennes 1
 - Détails à venir...
- Professionnels et autres
 - Compléter la Fiche d'admission et d'inscription à titre d'étudiant libre de 2^e cycle 8597 ou 3^e cycle 8598 joint à ce document
 - Bien indiquer le choix de cours GEO 1502 pour la session d'automne 2016 et faire parvenir les documents requis au registrariat de l'INRS, à l'attention de madame Élane Parent
 - Une facture vous sera envoyée par courriel vers la fin septembre et vous devrez acheminer un chèque au nom de l'INRS au Service des finances pour les frais de scolarité
 - Compléter la feuille d'inscription à la fin du plan de cours et envoyer un paiement additionnel (500\$) pour les frais d'hébergement (CIRSA) et de transport sur le terrain au Service des finances de l'INRS
- Les dîners pour l'ensemble du cours et l'hébergement dans la région de Québec pour les jours 1 à 3 (si nécessaire) sont exclus et doivent être prévus par les participants
- Le transport sur les sites de terrain à partir de l'INRS-ETE pour tous les jours, l'hébergement et les repas du soir et du matin à la station CIRSA de Sacré-Coeur pour les jours 4 à 7 ainsi que le matériel de terrain sont inclus
- Prévoyez apporter des vêtements de terrain et un ordinateur portable
- Les journées de cours débutent à 8h30 et se terminent au plus tard vers 18h. Il n'y a pas d'annulation en cas de pluie
- **Le paiement des frais additionnels de terrain doit être fait par chèque** à l'ordre de l'INRS avant le 19 août à l'attention du Service des Finances
- **Pour un reçu**, faire la demande par courriel à Linda Aubert : linda.aubert@ete.inrs.ca
- Aucune carte de crédit n'est acceptée pour les frais additionnels de terrain et les chèques ne sont pas remboursables en cas d'annulation
- Maximum 15 participants, **réservez votre place en complétant votre inscription**

ÉVALUATIONS

- Résumés de lecture ou rapport de terrain – 40%
 - À la fin de chaque journée, un résumé de lecture d'un article ou un rapport de terrain est à remettre
 - La longueur maximale du résumé est de 300 mots ou 1 page dans le cas d'un rapport de terrain
- Examen oral – 60 %
 - À la fin du cours, des questions seront remises aux étudiants
 - En équipe de 2 à 3 personnes, les étudiants devront préparer leurs réponses et les présenter de façon orale lors d'un exposé de 15 minutes devant les professeurs du cours lors d'une **session d'évaluation le vendredi 23 septembre** à partir de 13h

PROGRAMMATION DÉTAILLÉE

Jour 1 (6 septembre) – **Jasmin Raymond** – Laboratoire Lourds, Québec

Essais de conductivité thermique en géothermie

Mesure de la conductivité thermique sur des échantillons de sol (Norme ASTM D-5334)

- Sonde à aiguille : calibration et mesure sur les échantillons (Manuel K2DPro)

Mesure de la conductivité thermique en forage (Pehme et al., 2007)

- Description des équipements (câble chauffant, lecteur de puissance, capteur de température)
- Fonctionnement et préparation des capteurs de température
- Installation d'un câble chauffant et d'un lecteur de puissance
- Injection de chaleur dans le forage

Jour 2 (7 septembre) – **René Lefebvre** et **Richard Martel** – Laboratoire Lourds, Québec

Opérations avec foreuse

Sondage par pénétration au cône (CPT) (Fauveau et al., 2005)

- Briefing de sécurité : **se tenir à une distance de 6 m de la foreuse en opération**
- Fonctions et opérations de la foreuse (Fiche de la foreuse)
- Description de l'instrumentation utilisée (CPT/SMR)
- Instrumentation complémentaire (échantillonneurs d'eau...)
- Démonstration d'un sondage par pénétromètre (CPT)
 - Reconnaissance des matériaux
 - Choix de l'intervalle d'échantillonnage de sol

Échantillonnage de sols en forage

- Instrumentation utilisée (échantillonneurs de sol)
- Montage et opération de l'échantillonneur
- Échantillonnage de sol avec la foreuse
- Description des échantillons de sol

Installation de puits d'observation

- Démonstration par groupes d'étudiants
- Simulation des étapes d'installation (tubage représentant le forage)
- Puits 2 po avec sable filtrant autour d'une crépine
- Schémas d'installations de puits d'observation

Opérations à un puits d'observation

Mesure des niveaux d'eau initiaux dans le puits d'observation installé

Principe et démonstration du développement et de la purge des puits d'observation (pompe Watterra et anneau de développement)

Essai de perméabilité (par choc hydraulique)

Échantillonnage d'eau avec diverses méthodes (écope, pompe Watterra, pompe à vessie, pompe péristaltique...) et mesure des paramètres physico-chimiques avec une sonde multiparamètres

Jour 3 (8 septembre) – **Michel Malo** – Québec et environs

Levés de géologie structurale et excursion géologique près de la ville de Québec

Le réservoir de gaz naturel de Saint-Flavien se trouve en profondeur au sein du front tectonique des Appalaches du Québec. Une bonne proportion de la porosité est contrôlée par la fracturation de la roche réservoir. L'excursion dans la région de Québec permettra d'observer les relations stratigraphiques et structurales entre le socle, la plate-forme et le front tectonique des Appalaches. Les principaux mécanismes de la déformation dans ces domaines tectoniques seront abordés.

Description des arrêts

Rivière Montmorency au nord de la chute

Description : discordance sur le Grenville et Groupe de Trenton

Vue de la passerelle du Parc de la Chute-Montmorency

Description : vue d'ensemble du front appalachien, le bouclier, les Basses-Terres du Saint-Laurent, les failles normales, le domaine parautochtone, les chevauchements et les Appalaches (les nappes externes).

Cap Diamant

Description : nappe du Promontoire de Québec, Formation de Citadelle, stratigraphie, plis et clivage.

Côte du Passage, Lévis

Description : écaille (nappe) de la Pointe-de-Lévy, Formation de Lévis, anticlinal droit, faille inverse.

Chûtes de Charny

Description : nappe de la Chaudière, Formation de Saint-Nicolas, anticlinal déversé.

Exercices

Arrêts Côte du Passage et chûtes de Charny

Les deux arrêts font partie du front tectonique des Appalaches, plus particulièrement du domaine des nappes externes.

- 1) Déterminez la direction et la plongée des plis aux deux arrêts
- 2) Déterminez l'attitude du clivage

Une brève discussion en groupe portera sur la comparaison des résultats avec l'analyse de fracturation du réservoir de gaz naturel de Saint-Flavien, situé à 45 km au sud-ouest de Québec, dans le domaine parautochtone des Appalaches.

Jour 4 (9 septembre) – **Marc Richer-Lafèche** – Charlevoix, départ de Québec en direction de Sacré-Coeur

Excursion géologique et géophysique dans Charlevoix

- Structure et morphologie de l'astrolème de Charlevoix
- Stratigraphie sédimentaire et exploration pétrolière
- Fracturation, métamorphisme et shatter cones des affleurements

- Sismicité et glissements de terrain

La journée se termine au Camp CIRSA près de Sacré-Coeur, pas de retour vers Québec

Jour 5 (10 septembre) – **Bernard Giroux** – Camp CIRSA, Sacré-Coeur

Méthodes électriques

Acquisition d'un profil 2D de résistivité électrique au voisinage des puits hydrogéologiques

- Code de bonne pratique
- Déploiement du réseau d'électrodes
- Configuration du système d'acquisition

Contrôle de la qualité des données

- Transfert des données sur PC
- Traitement sommaire par inversion avec le logiciel res2dinv

Tomographe géoradar

Acquisition d'un levé de tomographie géoradar en forage à l'emplacement du profil de résistivité

- Code de bonne pratique
- Définition des paramètres d'acquisition
- Contrôle de la qualité des données en temps réel

Interprétation préliminaire

Comparaison des données radar et électriques

Jours 6 et 7 (11 et 12 septembre) – **Richard Martel et Jasmin Raymond** – Camp CIRSA, Sacré-Coeur

Interactions eau de surface et eau souterraine, aspects hydrauliques

- Démonstrations avec un modèle physique
- Installation de demi-barils et mini piézomètres dans le lit d'une rivière
- Installation de capteurs de température dans les mini piézomètres
- Évaluation du gradient hydraulique et de la conductivité hydraulique

Traçage chimique et thermique de l'écoulement d'eau souterraine

Le retour vers Québec s'effectue le lundi 12 septembre à partir de 13h

PROFESSEURS

Bernard Giroux



Le professeur Giroux s'intéresse à la modélisation et l'imagerie en géophysique appliquée, et plus particulièrement au développement d'outils géophysiques qui permettent de caractériser les réservoirs et aquifères de façon quantitative. Les applications sont multiples, mais dernièrement il s'est particulièrement intéressé à la séquestration géologique du CO₂, et l'exploration des ressources géothermiques.

René Lefebvre



Le professeur Lefebvre s'intéresse à l'écoulement multiphase, aux processus de transfert (fluides, masse, chaleur) en milieux géologiques poreux et fracturés, ainsi qu'aux réactions géochimiques accompagnant ces transferts. Ses travaux sont appliqués à la caractérisation et à la modélisation des aquifères contaminés et des systèmes d'écoulement locaux et régionaux en relation avec la gestion des ressources en eau souterraine.

Michel Malo



Les travaux du professeur Malo portent sur la géologie des Appalaches (stratigraphie, structure, tectonique) et la géologie structurale (étude de fracturation, relation minéralisation-structure). Ses travaux de nature plus appliquée portent sur l'étude des gîtes minéraux dans les environnements sédimentaires et l'analyse des systèmes pétroliers au Québec. La sismique réflexion, la modélisation 3D, la géochronologie, et la géochimie minérale et organique sont des outils utilisés par le professeur Malo et ses collaborateurs dans ses divers travaux de recherche. Ses travaux plus récents portent sur l'analyse des réservoirs potentiels pour le stockage du CO₂ dans les bassins sédimentaires du Québec et la géothermie profonde.

Richard Martel



Le professeur Martel s'intéresse à la réhabilitation *in situ* des eaux souterraines et des sols contaminés ainsi qu'à la caractérisation et à la gestion des aquifères. Pour ce faire, ses travaux portent autant sur des essais en laboratoire que sur le terrain.

Jasmin Raymond



Intéressé par la géothermie, le professeur Raymond effectue des travaux sur les ressources de basse et moyenne température incluant les systèmes de pompes à chaleur. Ses projets ont pour objectif d'améliorer la rentabilité des systèmes et sont réalisés en collaboration avec des concepteurs, opérateurs et manufacturiers du domaine. Les essais de terrain et la modélisation numérique sont les principales activités entreprises.

Marc Richer-Lafèche



Les activités de recherche du professeur Richer-Lafèche sont orientées sur les géosciences appliquées. Les projets de recherche, principalement basés sur des études géophysiques et géochimiques, couvrent un large spectre d'applications allant de l'exploration minière, gazière et pétrolière à la géotechnique et même à l'archéologie.

RÉFÉRENCES

ASTM International, 2008. Standard test method for determination of thermal conductivity of soil and soft rock by thermal needle probe procedure, norme D5334.

Decagon Devices Inc., 2014. KD2 Pro thermal properties analyzer – Operator's Manual, Hopkins Court, Pullman, WA.

Fauveau, É., Lefebvre, R., Ballard, J.-M., Fortier, R., Martel, R., 2005. Examples of hydrogeological characterization of unconsolidated sediments with direct push and rotoperussion technologies. Proceedings, 58th Canadian Geotechnical Conference and 6th Joint CGS/IAH Conference, Saskatoon, Canada, October 2005, Session 11EA, Paper 565, 8 p.

Pehme, P.E., Greenhouse, J.P., Parker, B.L., 2007. The active line source temperature logging technique and its application in fractured rock hydrogeology. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics* 12 : 307–322.

FORMULAIRE D'INSCRIPTION ET PAIEMENT DES FRAIS ADDITIONNELS DE TERRAIN

Coordonnées

Nom : _____	No téléphone jour : _____
Adresse : _____ _____ _____	No cellulaire durant le cours : _____ _____ _____
Courriel : _____	Affiliation : _____ _____

Frais d'inscription et besoins pour repas

Frais additionnels pour les déplacements sur le terrain et l'hébergement au camp CIRSA de Sacré-Coeur	Veuillez nous indiquer toutes allergies ou besoins particuliers à considérer pour la planification des repas : _____ _____ _____
Étudiant (200\$) <input type="checkbox"/>	
Professionnel (500\$) <input type="checkbox"/>	
Les frais de scolarité pour la sélection du cours doivent aussi être acquittés via les systèmes des institutions participantes.	

Payable par chèque à l'ordre de l'INRS avant le 19 août 2016

Envoyez le paiement par la poste à :

Service des finances

Institut national de la recherche scientifique, Centre - Eau Terre Environnement
490 rue de la Couronne, Québec (QC), G1K 9A9

Envoyez le formulaire par courriel à Jasmin Raymond :

Jasmin.raymond@ete.inrs.ca

Complétez votre **choix de cours GEO 1502** dans **IDÉ** (INRS) ou avec le **BCI** (externes) et payez les frais de scolarité pour la session d'automne 2016