

Plan de cours

# MÉTHODES DE CARACTÉRISATION DE LA SOUS-SURFACE

GEO 1502



Institut national  
de la recherche  
scientifique

# PLAN DE COURS

**Nom du cours :**

**MÉTHODES DE CARACTÉRISATION DE LA SOUS-SURFACE**

**Sigle du cours :**

**GEO 1502**

**Offert au trimestre :**

Automne 2022

**Nombre de crédits :**

3

<b>Heure :</b>	<b>Débuté tous les jours à 8h30</b>	<b>Date :</b>	<b>Terrain 13 au 20 septembre</b> <b>Examen 30 septembre</b>	<b>Local :</b>	<b>ETE 2405 (INRS) et PLT-4118 (UL)</b>
----------------	-------------------------------------	---------------	---	----------------	---

## PROFESSEUR RESPONSABLE ET COORDONNÉES

Jasmin Raymond  
T 418-654-2559  
jasmin.raymond@inrs.ca

## AUTRES PROFESSEURS PARTICIPANTS AU COURS, LE CAS ÉCHÉANT

Geneviève Bordeleau (INRS), Christian Dupuis (UL), Erwan Gloaguen (INRS), Jean-Michel Lemieux (UL), Richard Martel (INRS), John Molson (UL), Renaud Soucy La Roche (INRS).

## DESCRIPTION DU COURS

**Cours de terrain** intensif du 13 au 20 septembre 2022

### Coûts

Étudiant - 300 \$ pour frais de terrain + frais de scolarité  
Professionnel - 600 \$ pour frais de terrain + frais de scolarité

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).

## OBJECTIFS DU COURS

La protection des aquifères superficiels tout comme l'évaluation du potentiel énergétique des réservoirs 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, CO<sub>2</sub>, 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.

## CONTENU DU COURS

### APERÇU DES ACTIVITÉS

Jour 1 – Levés de géologie structurale et excursion géologique près de la ville de Québec

Jour 2 – Essais de conductivité thermique en géothermie (Labos lourds, Québec)

Jour 3 – Essais multiniveaux et diagraphies en forages hydrogéologiques (Université Laval, Québec)

Jour 4 – Forage, échantillonnage des sols et installation des puits (Labos lourds, Québec)

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

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

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

Jour – 8 Retour vers Québec

Examen **ORAL** au retour – possibilité de vidéoconférence pour les étudiants à l'extérieur.



2016



2014

## PROGRAMMATION DÉTAILLÉE

**Jour 1** (Mardi 13 septembre) – **Renaud Soucy La Roche** – Québec et environs

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



L'excursion dans la région de Québec permettra d'observer les relations stratigraphiques et structurales entre le socle du Grenville, la plate-forme du Saint-Laurent et le front tectonique des Appalaches. Les principaux mécanismes de la déformation dans ces domaines tectoniques seront abordés pour mettre en perspective les propriétés mécaniques et la structure des roches qui contrôlent la migration et la formation de réservoirs de fluides (eau, hydrocarbures, CO<sub>2</sub>) sous la surface de la Terre.

### Horaire de la journée

#### 8h30 – 10h – Salle de cours

Introduction à la notion de réservoirs géologiques profonds et leur utilisation pour des fins industrielles (extraction d'hydrocarbures, stockage de gaz naturel et de CO<sub>2</sub>, géothermie).

Introduction à la géologie du Bouclier canadien, de la plate-forme du Saint-Laurent et des Appalaches dans la région de Québec.

#### 10h – 17h – Visite d'affleurements sur le terrain

##### Description des arrêts

**Rivière Montmorency** au nord de la chute

Description : discordance entre le socle du Grenville et le Groupe de Trenton de la plate-forme du Saint-Laurent

##### Vue de la passerelle du Parc de la Chute Montmorency

Description : vue d'ensemble du socle du Grenville, de la plate-forme du Saint-Laurent et des nappes externes des Appalaches incluant des structures à grande échelle telles que des failles normales et des failles chevauchantes.

##### Île d'Orléans à Sainte-Pétronille

Description: Ligne Logan, Nappe du Promontoire de Québec, Écaille de Sainte-Pétronille, pli anticlinal plongeant, plis parasitiques, mesures de stratification et calculs d'orientation de plis.

##### Chutes de Charny

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

**Jour 2** (Mercredi 14 septembre) – **Jasmin Raymond** – Laboratoires 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 en laboratoire (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 3** (Jeudi 15 septembre) – **Jean-Michel Lemieux et Christian Dupuis** –  
Université Laval, Québec

### Essais multiniveaux et diagraphies en forages hydrogéologiques



**Essais hydrauliques avec obturateurs pneumatiques**

- Utilité des obturateurs pneumatiques pour l'investigation hydrogéologique du roc
- Aperçu des différentes configurations possibles
- Méthodes d'interprétation des essais hydrauliques (régime permanent et transitoire)

- Réalisation d'essais sur le terrain

### Diagraphies en forage hydrogéologiques

- Introduction aux méthodes diagraphiques
- Déploiement de sondes diagraphique (Televiewer, Gamma spectral, résistivité, PP)
- Interprétation des diagraphies

---

**Jour 4** (Vendredi 16 septembre) – **Richard Martel** et **Geneviève Bordeleau** – 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

**Jour 5** (Samedi 17 septembre) – **Erwan Gloaguen** – Camp CIRSA, Sacré-Coeur

### Méthodes géophysiques



#### Départ vers le camp CIRSA au matin

#### Tomographie électrique

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

#### Tomographie géoradar

Acquisition d'un levé de tomographie géoradar en surface 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** (Dimanche 18 et lundi 19 septembre) – **Geneviève Bordeleau, Richard Martel, John Molson, et Jasmin Raymond** – Camp CIRSA, Sacré-Coeur

**Interactions eau de surface et eau souterraine, aspects hydrauliques**





#### Manipulations dans le lit de la rivière Sainte-Marguerite

- 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 du lit de la rivière

#### Opérations dans les puits d'observation

Mesure des niveaux d'eau initiaux dans les puits d'observation

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

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

Traçage chimique et thermique de l'écoulement d'eau souterraine dans les puits d'observation

**Exercice de modélisation animée par John Molson** : Modélisation numérique des essais de traçage en hydrogéologie

---

**Jour 8** (Mardi 20 septembre) – **Retour vers Québec**

---

**Examen oral** (Vendredi 30 septembre)

10 à 12h – Examen par vidéoconférence pour les étudiants à distance

13 à 15h – Examen en personne pour les étudiants à Québec

#### **MATÉRIEL DIDACTIQUE ET APPROCHES PÉDAGOGIQUES**

Tout le matériel du cours sera disponible en téléchargement sur Moodle.

#### **ÉVALUATION**

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 10 à 20 minutes devant un jury

#### **Pour plus de détails :**

##### **Politique d'intégrité en recherche :**

[http://www.inrs.ca/sites/default/files/inrs/politiques\\_procedures\\_reglements/Politique\\_IntegriteRecherche%20VersionFinale.pdf](http://www.inrs.ca/sites/default/files/inrs/politiques_procedures_reglements/Politique_IntegriteRecherche%20VersionFinale.pdf)

##### **Intégrité en recherche : Guide pour les étudiants :**

[http://www.inrs.ca/sites/default/files/etudier\\_inrs/etudiants\\_actuels/INRS\\_Guide\\_de\\_l'etudiant\\_Integrite\\_Recherche.pdf](http://www.inrs.ca/sites/default/files/etudier_inrs/etudiants_actuels/INRS_Guide_de_l'etudiant_Integrite_Recherche.pdf)

### **CONSIGNES RELATIVES AUX RETARDS DES TRAVAUX ET ABSENCE À UN EXAMEN**

Aucun retard ne sera accepté. La ponctualité de tous est demandée pour ne pas retarder les activités de terrain.

### **INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES**

#### **MODALITÉS D'INSCRIPTION – AVANT LE 1<sup>ER</sup> SEPTEMBRE**

- Tous les participants
  - Compléter la feuille d'inscription à la fin du plan de cours et envoyer un paiement additionnel (300 \$ étudiant, 600 \$ professionnel pour les frais d'hébergement (CIRSA) et de transport sur le terrain) à l'INRS à l'attention de Sylvie Lavoie (Centre Eau Terre Environnement, 490 rue de la Couronne, Québec, Qc, G1K 9A9)
- Étudiants de l'INRS
  - Choisir le cours GEO 1502 dans le système IDÉ : <https://portail.adm.inrs.ca/ide/portail/index.html>
- Étudiants de l'Université Laval et d'autres établissements universitaires du Québec
  - Remplir une demande d'autorisation de cours hors établissement au BCI : <https://www.bci-qc.ca/etudiants/aehe/>
- Étudiants canadiens, français, internationaux (dont ceux de l'Université de Rennes 1), professionnels et autres
  - Faire une demande d'admission à l'INRS à titre d'étudiant libre de 2<sup>e</sup> cycle (8597) ou 3<sup>e</sup> cycle (8598) : <http://www.inrs.ca/etudier/admission>
  - Bien indiquer le choix de cours GEO 1502 pour la session d'automne 2022 et faire parvenir les documents requis au registrariat de l'INRS avec une copie d'un diplôme de 1er cycle et un certificat de naissance
  - Une facture vous sera envoyée par courriel et vous devrez acheminer un chèque au nom de l'INRS au Service des finances pour les frais de scolarité (3 crédits) qui diffèrent selon votre nationalité
- Les dîners pour l'ensemble du cours et l'hébergement dans la région de Québec doivent être prévus par les participants

- Le transport sur les sites de terrain à partir de l'INRS pour tous les jours, l'hébergement (dortoir) et les repas à la station CIRSA de Sacré-Coeur ainsi que le matériel de terrain sont inclus
- Prévoyez apporter des vêtements de terrain, un sac de couchage, et un ordinateur
- Les journées de cours débutent à 8h30 et se terminent très tard, parfois passé 20h. Il n'y a pas d'annulation en cas de pluie
- **Le paiement des frais additionnels de terrain doit être fait par chèque ou carte de crédit** à l'ordre de l'INRS avant le 1<sup>er</sup> septembre
- **Pour un paiement par carte de crédit** : 1) écrire à [finances@adm.inrs.ca](mailto:finances@adm.inrs.ca), 2) dans le courriel, indiquer le montant à payer, le nom du cours, le professeur responsable, votre nom et votre courriel, 3) le service des finances de l'INRS va vous envoyer par courriel un lien pour faire le paiement en ligne
- **Pour un reçu**, faire la demande à Sylvie Lavoie : [sylvie.lavoie@inrs.ca](mailto:sylvie.lavoie@inrs.ca)
- Les frais de terrain ne sont pas remboursables en cas d'annulation
- Maximum 15 participants, **réservez votre place en complétant votre inscription**

#### BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

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, 58<sup>th</sup> Canadian Geotechnical Conference and 6<sup>th</sup> 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.

**MÉTHODES DE CARACTÉRISATION DE LA SOUS-SURFACE**  
**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 (300 \$) <input type="checkbox"/> Professionnel (600\$) <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 ou par carte de crédit **avant le 1<sup>er</sup> septembre 2022**

Envoyez le paiement par la poste à :

**Sylvie Lavoie**

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

Ou écrire à [finances@inrs.ca](mailto:finances@inrs.ca) pour effectuer un paiement par carte de crédit  
Complétez votre **choix de cours GEO 1502** dans **IDÉ** (INRS), avec le **BCI** (externes) ou dans le formulaire d'admission pour étudiants libres et payez les frais de scolarité pour la session d'automne 2022