

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 2024

**Nombre de crédits :**

3

<b>Heure :</b>	<b>Débuté tous les jours à 8h30</b>	<b>Date :</b>	<b>Terrain 9 au 15 septembre Examen 1er octobre</b>	<b>Local :</b>	<b>ETE 2405 (INRS)</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), Bernard Giroux (INRS), Louis-César Pasquier (INRS), Renaud Soucy La Roche (INRS), Daniel Paradis (CGC), Daniela Blessent (UdM).

## DESCRIPTION DU COURS

**Cours de terrain** intensif du 9 au 15 septembre 2024

### 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 participants).

## 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 (CO<sub>2</sub>, géothermie, hydrogène). 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, l'échantillonnage de sol et d'eau souterraine ainsi que des essais de perméabilité et de conductivité thermique.

## CONTENU DU COURS

### APERÇU DES ACTIVITÉS

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

Jour 2 – Méthodes électriques et échantillonnage de sols (Labos lourds, Québec)

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

Jour 4 – Excursion géologique et géothermique dans Charlevoix (départ pour Camp CIRSA, Sacré-Cœur)

Jour 5 – Interactions eau de surface et souterraine (Camp CIRSA, Sacré-Cœur)

Jour 6 – Traçage de l'eau souterraine (retour vers Québec)

Jour 7 – Levés de géologie structurale et excursion géologique près de la ville de Québec

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



## PROGRAMMATION DÉTAILLÉE

**Jour 1** (lundi 9 septembre) – **Jasmin Raymond et Daniela Blessent** – Laboratoires  
Lourds, Québec

### **Essais de conductivité thermique et hydraulique en géothermie**

Évaluation de la conductivité thermique sur des échantillons de roc

- Sonde à aiguille : calibration et mesure en laboratoire

Évaluation de la conductivité thermique en forage

- 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

Évaluation de la conductivité hydraulique en forage

- Explication théorique d'un essai Porchet
- Réalisation de l'essai sur le terrain
- Analyse des données recueillies et estimation de la conductivité hydraulique du milieu géologique

---

**Jour 2** (mardi 10 septembre) – **Bernard Giroux et Louis-César Pasquier** –  
Laboratoires Lourds, Québec

### **Méthodes électriques**

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

### **Échantillonnage des sols contaminés**

Étude du guide de caractérisation

Présentation des outils d'échantillonnage

- Utilisation des outils
- Méthodes de prélèvements

- Prévention de la contamination

Mise en situation

- Réalisation d'une caractérisation de phase 2 (simulation d'un site contaminé)

---

**Jour 3** (mercredi 11 septembre) – **Daniel Paradis et Christian Dupuis** – Université Laval, Québec

#### **Essais hydrauliques multiniveaux 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** (jeudi 12 septembre) – **Jasmin Raymond** – Départ pour le Camp CIRSA, Sacré-Cœur

#### **Excursion géologique dans Charlevoix**

- Structure et morphologie de l'astrolème de Charlevoix
- Fracturation, métamorphisme et shatter cônes observés au niveau d'affleurements
- Potentiel géothermique de l'astrolème de Charlevoix
- Roches isolantes de l'anorthosite de Saint-Urbain
- Visite d'une station de captage d'eau souterraine et d'un système de pompe à chaleur d'aquifère

---

**Jours 5 et 6** (vendredi 13 et samedi 14 septembre) – **Geneviève Bordeleau et Jasmin Raymond** – Camp CIRSA, Sacré-Coeur

#### **Interactions eau de surface et eau souterraine**

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

---

**Jours 7** (dimanche 15 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. Rappel des méthodes de prise et d'analyse de mesures structurales.

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

**Chute Montmorency** : discordance entre le socle du Grenville et le Groupe de Trenton de la plate-forme du Saint-Laurent. 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 chevauchantes.

**Île d'Orléans à Sainte-Pétronille** : 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-la-Chaudière** : nappe de la Chaudière, Formation de Saint-Nicolas, polarité sédimentaire, anticlinal déversé.

---

**Examen oral** (mardi 1er octobre)

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
- Il est fortement encouragé de faire les résumés ou rapports de terrain en équipe

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](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](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
  - Payer les frais additionnels de 300 \$ (étudiant) ou 600 \$ (professionnel) pour les frais d'hébergement (CIRSA) et de transport sur le terrain
- 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, 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 1<sup>er</sup> cycle et un certificat de naissance
  - Une facture vous sera envoyée par courriel que vous devez acquitter auprès du Service des finances de l'INRS pour les frais de scolarité (3 crédits) qui diffèrent selon votre nationalité
- Les repas 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 carte de crédit** auprès 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
- Les frais de terrain ne sont pas remboursables en cas d'annulation
- Maximum 15 participants, **réservez votre place en complétant votre inscription**