

CENTRE EAU TERRE ENVIRONNEMENT DE L'INRS

## MAÎTRISE EN SCIENCES DE LA TERRE (PROFIL AVEC MÉMOIRE)

Ce programme est offert conjointement par l'INRS (Centre Eau Terre Environnement) et l'Université Laval (Département de géologie et de génie géologique).

Code	Titre	Grade	Crédits
3526	MAÎTRISE EN SCIENCES DE LA TERRE (profil avec mémoire)	Maître ès sciences, M. Sc.	Quarante-cinq
	Concentration « géodynamique et ressources »		
	Concentration « géoingénierie et environnement »		

### OBJECTIFS

Ce programme permet au membre étudiant d'acquérir des connaissances générales plus poussées, d'approfondir un domaine particulier des sciences de la terre, de s'initier à la recherche scientifique et de se préparer adéquatement à la pratique professionnelle de la géologie ou du génie géologique.

### CONDITIONS D'ADMISSION

La personne candidate doit être titulaire d'un baccalauréat, ou l'équivalent, en sciences de la terre, en géologie, en génie géologique, ou dans un domaine connexe, obtenu avec une moyenne cumulative d'au moins 3,0 (sur 4,3) ou l'équivalent ; ou posséder les connaissances requises, une formation appropriée et une expérience jugée pertinente.

Elle doit avoir obtenu de bonnes recommandations de la part des personnes répondantes.

De plus, la personne candidate doit avoir été acceptée par une direction de recherche qui est en mesure de confirmer cette acceptation, l'existence d'un projet de recherche réaliste et la disponibilité des ressources humaines et matérielles nécessaires à la réalisation du projet.

Le comité de programmes doit avoir l'assurance d'une capacité adéquate d'accueil et d'encadrement.

### RÉGIME D'ÉTUDES ET DURÉE DES ÉTUDES

- Temps complet : 2 ans
- Temps partiel : 4 ans

### LISTE DES ACTIVITÉS

(Sauf indication contraire, les cours comportent 3 crédits.) La maîtrise en sciences de la Terre profil avec mémoire comporte 45 crédits, dont 31 pour la rédaction d'un mémoire qui démontre l'aptitude de l'auteur à mener une recherche scientifique et 14 pour les cours.

Le comité de programme tient à jour la planification des cours offerts sur une période d'au moins une année, afin de permettre à l'étudiant de planifier sa scolarité dès la première inscription.

Les activités identifiées GEO ou ETE sont offertes sous la responsabilité de l'INRS alors que celles identifiées ADM, DRT, ECN, GCI, GGL, GLG, GMT, GRR, GSO, MCB, SAC, SCG et SLS sont offertes sous la responsabilité de l'Université Laval.

#### ACTIVITÉS OBLIGATOIRES (5 CR.)

##### ETE101 COMMUNICATION ET ÉTHIQUE SCIENTIFIQUE (3 CR.)

Ce cours est obligatoire pour les étudiantes et étudiants des programmes de maîtrise en sciences de la Terre et en sciences de l'eau (recherche et professionnelle). Il est offert en option aux étudiantes et étudiants de doctorat en sciences de l'eau et de la Terre. Il vise à fournir des outils de base en communication et en éthique scientifiques essentiels pour poursuivre une carrière scientifique, tant dans le secteur universitaire que gouvernemental et privé. Les diverses notions abordées sont présentées pour s'intégrer les unes aux autres.

##### ETE203 DEVIS DE RECHERCHE (SC TERRE) (1 CR.)

L'étudiante ou l'étudiant prépare une proposition de recherche avec contexte, problématique, objectifs, méthodologie, échéancier, et budget. La proposition de recherche est un document écrit d'au plus 20 pages à double interligne.

Le jury d'évaluation comprend au minimum deux personnes, soit la superviseure ou le superviseur principal de l'étudiante ou de l'étudiant, et une professeure ou un professeur non impliqué dans le projet.

Cette professeure ou ce professeur peut être interne (actif dans le programme conjoint) ou externe.

La codirectrice ou le codirecteur peut aussi participer au jury en plus des deux autres professeures et professeurs. Le responsable de programme, qui est responsable de l'activité, aide le jury à arriver à un consensus sur le verdict, sans porter de jugement personnel sur la qualité de la science.

#### **GEO9901 SÉMINAIRE D'AVANCEMENT DES TRAVAUX DE MAÎTRISE (1 CR.)**

Apprendre à diffuser les résultats d'un travail de recherche sous la forme d'une présentation orale publique de 20 à 30 minutes, suivie d'une période de questions. La présentation est évaluée par un jury, qui fera des recommandations à l'étudiante ou l'étudiant sur la rédaction de son mémoire de maîtrise. La présentation s'effectue obligatoirement avant la fin de la quatrième session d'inscription.

### **ACTIVITÉS AU CHOIX (9 CR.)**

#### **CONCENTRATION 1 « GÉOSCIENCES ET RESSOURCES »**

##### **GEO1301 VOLCANOLOGIE ET EXPLORATION MINÉRALE (3 CR.)**

Propriétés physiques et chimiques des magmas ; coulées de lave et dômes ; mécanismes et types d'éruptions explosives ; édifices volcaniques ; volcanisme sous-marin et sous-glaciaire ; hydrothermalisme ; effet de la diagenèse, du métamorphisme et de l'altération hydrothermale sur les roches volcaniques ; applications pour exploration minérale incluant les sulfures massifs volcanogènes, les sulfures de nickel (komatiites), les diatrèmes et les kimberlites.

##### **GEO1302 MODÉLISATION ET INVERSION EN GÉOPHYSIQUE (3 CR.)**

Le cours d'hydrogéophysique fait un survol des différentes techniques de caractérisation de la proche surface par des méthodes géophysiques. Les relations entre les propriétés hydrauliques et physiques des aquifères sont d'abord étudiées.

Ensuite, la théorie des techniques d'imagerie électromagnétiques, électriques et sismiques sont présentées.

Les méthodes en forages (diagraphie et tomographie) sont aussi présentées. Les techniques d'inversion et de traitement de chaque méthode sont présentées avec des logiciels commerciaux utilisés dans l'industrie.

Pour finir, le cours présente aussi les concepts de base de l'intégration multivariée.

##### **GEO1303 MÉTHODES SISMIQUES (3 CR.)**

Principes fondamentaux de la propagation des ondes sismiques. Principes de base de traitement du signal sismique : analyse spectrale, filtrage, déconvolution. Sismique réflexion : acquisition des données, corrections statiques, analyse de vitesse, NMO, DMO, migration, interprétation quantitative et AVO. Principes de base en interprétation. Méthodes en forage.

##### **GEO1502 MÉTHODES DE CARACTÉRISATION DE LA SOUS-SURFACE (3 CR.)**

Ce cours porte sur l'intégration des données géoscientifiques (géophysiques, géochimiques, géologiques, géotechniques et hydrogéologiques) en vue de développer pour une région d'étude un modèle géoscientifique utile aux différents domaines des sciences de la Terre.

Les concepts d'analyse géostatistique de variables régionalisées, d'interpolation et de maillage de ces variables, de réduction par filtrage des champs de potentiel à l'aide de la transformée de Fourier, de représentation cartographique et de superposition des couches d'information géoscientifique sont développés et appliqués à des études de cas réels.

Plusieurs systèmes d'information géographique sont développés pour intégrer les données géoscientifiques disponibles dans une région d'étude et calculer des indices de favorabilité minérale ou de vulnérabilité à un risque naturel donné ou à la contamination des eaux souterraines de cette région.

Remarque : Cours réservé exclusivement aux étudiantes et étudiants qui n'ont pas suivi le cours GGL4602 Intégration des données géoscientifiques.

##### **GEO9403 ANALYSE DE BASSINS : PRINCIPES ET MÉTHODES (3 CR.)**

Principe de stratigraphie. Analyse séquentielle et modèles de faciès. Zonation biostratigraphique et paléocéologique. Chronostratigraphie et géochronologie. Séismostratigraphie. Magnétostratigraphie. Cycles stratigraphiques régionaux et globaux à travers le temps. Paléogéographie. Travaux pratiques : traitement informatique des données stratigraphiques, gestion de projet.

##### **GEO9601 GÉOCHIMIE DE HAUTE TEMPÉRATURE (3 CR.)**

Propriétés des éléments chimiques et leur distribution dans les roches. Éléments compatibles et incompatibles au cours des processus magmatiques de fusion et de cristallisation. Utilisation des diagrammes de variation, analyse statistique des données, calculs et modèles pétrogénétiques de séquences volcaniques. Applications à l'ordinateur. Rapport final et examen oral.

##### **GEO9604 GÉOLOGIE STRUCTURALE AVANCÉE (3 CR.)**

Étude des roches déformées. Analyse de la déformation enregistrée par les tectonites et des mécanismes géologiques qui engendrent cette déformation. Reconnaître les éléments de la déformation finie dans une tectonite. Approfondir les concepts de la déformation progressive et de la déformation finie. Comprendre les mécanismes de déformation des grandes structures tectoniques. Faire la synthèse sur un aspect de la déformation des roches.

##### **GEO9911 EXCURSION GÉOLOGIQUE (3 CR.)**

Ce cours, offert occasionnellement, comprend une excursion géologique d'une dizaine de jours, au Québec ou ailleurs dans le monde, dont les concepts ciblés sont examinés préalablement puis affinés et synthétisés par les étudiantes et étudiants sous supervision des professeures et professeurs impliqués. Le cours comporte donc trois volets :

1) des lectures préparatoires avec ou sans ateliers,

- 2) l'excursion, avec un rapport de terrain ;  
 3) un travail de session ou des ateliers subséquents préparés par les membres étudiants.

Une participation financière de la part des étudiantes et étudiants est exigée pour les coûts d'excursion.

#### **GE09930 GÉODYNAMIQUE CONTINENTALE (3 CR.)**

Évolution tectonostratigraphique et structurale de différents types d'orogènes. Revue détaillée des principales caractéristiques lithologiques, structurales et métamorphiques de différents types de chaînes orogéniques récentes et anciennes. Visites de terrains, principalement des Appalaches du Québec, avec accent sur la caractérisation structurale d'unités rocheuses déformées et métamorphisées, et sur les implications tectoniques découlant des structures observées.

Remarque : Les frais de terrain sont à la charge des étudiantes et étudiants.

#### **GGL7451 PÉTROPHYSIQUE (3 CR.)**

La caractérisation géophysique des roches profondes et des fluides associés est effectuée en utilisant des instruments de mesure qui sont introduits dans des forages (diagraphies). Pour chaque instrument, le cours expose la physique fondamentale et le fonctionnement et porte aussi sur l'interprétation des données.

#### **GLG6000 GÎTES MINÉRAUX (3 CR.)**

Ce cours permet à l'étudiant de développer son esprit de synthèse et son jugement critique vis-à-vis des principaux modèles de pétrogenèse des roches magmatiques et métamorphiques.

La connaissance et l'application de ces modèles permettent de reproduire et d'expliquer les variations minérales, géochimiques et les conditions thermobarométriques de formation des suites de roches plutoniques, volcaniques et métamorphiques. Présentations orales, discussions en classe, comptes rendus de lectures et rapport synthèse de recherche par écrit.

#### **GLG7121 ANALYSES DES GÉOMATÉRIAUX (3 CR.)**

Éléments de minéralogie des argiles (phyllosilicates). Analyses minéralogiques par diffractométrie des rayons X (DRX), analyse thermogravimétrique (ATG) et analyse thermique différentielle (ATD). Microanalyse par microsonde électronique et microscopie électronique à balayage (MEB) couplée à des facilités d'analyse chimique (EDXA) et d'analyse automatique d'images. Analyses granulométriques et microporosimétriques. Propriétés physicochimiques (surface spécifique, capacité d'échange ionique, limites d'Atterberg, S). Influence des caractéristiques des sols fins sur leur comportement géotechnique et application aux sols fins du Québec et d'ailleurs. Familiarisation avec les techniques précédentes à l'aide de démonstrations et de travaux pratiques sur deux échantillons, dont un sol fin imposé et un autre matériau plus pertinent au domaine de recherche de l'étudiant(e).

#### **GLG7401 PÉTROLOGIE IGNÉE ET MÉTAMORPHIQUE AVANCÉE (3 CR.)**

Ce cours permet à l'étudiant de développer son esprit de synthèse et son jugement critique vis-à-vis des principaux

modèles de pétrogenèse des roches magmatiques et métamorphiques.

La connaissance et l'application de ces modèles permettent de reproduire et d'expliquer les variations minérales, géochimiques et les conditions thermobarométriques de formation des suites de roches plutoniques, volcaniques et métamorphiques. Présentations orales, discussions en classe, comptes rendus de lectures et rapport synthèse de recherche par écrit.

#### **GLG7412 BIOSÉDIMENTOLOGIE (3 CR.)**

Ce cours traite de la sédimentologie sous l'influence des organismes. Il regroupe des thèmes comme la production de matériaux et de biomatériaux, la biominéralisation, la biodiagenèse, l'organominéralisation, la matière organique naturelle (des biopolymères aux inclusions d'hydrocarbures), les grands systèmes biosédimentaires, l'authigenèse, la diagenèse tardive. L'observation se fait de l'échelle microscopique à l'échelle du bassin sédimentaire. Méthodes : coupes minces de microtomes et lames minces pétrographiques ; éléments mineurs et en traces (Ca, Mg, Fe, Sr) ; isotopes stables (principalement C, O) ; éléments de terres rares ; cathodolumoscopie, fluoroscopie (eaux naturelles, sédiments, roches carbonatées). Le cours inclut la préparation d'un séminaire.

#### **GLG7422 GÉOCHIMIE ISOTOPIQUE**

Ce cours porte sur les bases fondamentales des isotopes radiogéniques et stables et leur application aux roches et minéraux pour mieux contraindre le moment et la nature de leur formation. Il aborde toutes les étapes de la géochimie isotopique des roches : choix d'un système isotopique, méthodes de préparation d'échantillons, analyses et contrôle de qualité, réduction des données, interprétation des données.

Remarque : Cours réservé exclusivement aux étudiantes et étudiants diplômés d'un baccalauréat en géologie ou génie géologique.

#### **GLG7441 MÉTALLOGÉNIE (3 CR.)**

Acquérir des notions avancées sur les processus de formation des gîtes minéraux ; connaître les caractéristiques et comprendre les processus spécifiques aux gîtes d'or, de Pb-Zn-Cu dans les bassins sédimentaires et de sulfures massifs à Cu-Zn-Au volcanogènes ; développer les capacités d'analyse critique des textes scientifiques.

#### **GLG7452 ANALYSE ET GESTION DES RISQUES NATURELS (3 CR.)**

Fournir les éléments de base nécessaires à l'analyse qualitative et quantitative du risque et de sa gestion ; illustrer les principaux types de risques naturels ; comprendre les causes des mouvements de masse (terrestres et marins) et des mécanismes de rupture à partir d'histoires de cas présentés lors de diverses conférences ou ateliers ; assimiler les principaux critères de rupture (sols et roches) et les lois rhéologiques ; maîtriser, par des travaux personnels, les outils d'analyse de la rupture et de la postrupture dans les talus ; appliquer l'analyse et la gestion du risque et déterminer les méthodes de mitigation appropriées à un cas particulier de cartographie du risque d'un secteur donné.

**GLG7454 INTÉGRATION DES DONNÉES GÉOSCIENTIFIQUES (3 CR.)**

Ce cours porte sur l'intégration des données géoscientifiques (géophysiques, géochimiques, géologiques, géotechniques et hydrogéologiques) en vue de développer pour une région d'étude un modèle géoscientifique utile aux différents domaines des sciences de la Terre.

Les concepts d'analyse géostatistique de variables régionalisées, d'interpolation et de maillage de ces variables, de réduction par filtrage des champs de potentiel à l'aide de la transformée de Fourier, de représentation cartographique et de superposition des couches d'information géoscientifique sont développés et appliqués à des études de cas réels.

Plusieurs systèmes d'information géographique sont développés pour intégrer les données géoscientifiques disponibles dans une région d'étude et calculer des indices de favorabilité minérale ou de vulnérabilité à un risque naturel donné ou à la contamination des eaux souterraines de cette région.

Remarque : Cours réservé exclusivement aux étudiantes et étudiants qui n'ont pas suivi le cours GGL4602 Intégration des données géoscientifiques.

**CONCENTRATION 2 « GÉOINGÉNIERIE ET ENVIRONNEMENT »****GCI3100 — CONCEPTION ET GESTION DES CHAUSSÉES (3 CR.)**

Rôle et caractéristiques des chaussées. Étapes de développement. Reconnaissance des sols et caractérisation des granulats. Principes généraux de conception des chaussées. Calcul structural des pavages : méthodes de calcul des pavages rigides, flexibles et semi-flexibles. Technique de fabrication et de pose des pavages, entretien et réhabilitation. Construction des routes : matériaux, méthodes de construction, processus de gel, le drainage et ses effets. Gestion des chaussées.

**GCI7000 MÉCANIQUE DES SOLS AVANCÉE (3 CR.)**

Contraintes effectives dans les sols. Cas particulier des sols partiellement saturés. Cheminement de contraintes. Concepts d'état limite et d'état critique. Application aux sols cohérents et pulvérulents, saturés et non saturés. Effets de la structuration et de la destructuration ; effets de la vitesse et de la température ; comportement à petites déformations, perméabilité et consolidation ; relations entre les caractéristiques physiques et mécaniques.

**GCI7022 ESSAIS IN SITU EN GÉO-INGÉNIERIE (3 CR.)**

Retour sur le comportement des sols et objectifs de la caractérisation des sols en géo-ingénierie. Présentation des différents appareils utilisés : échantillonneur, SPT, piézocône, scissomètre, pressiomètre, appareils pour essais géophysiques et appareils pour déterminer les caractéristiques hydrauliques. Finalement, synthèse sur les différentes méthodes permettant la détermination des paramètres requis pour la conception d'ouvrages.

**GCI7076 GÉOTECHNIQUE DES RÉGIONS FROIDES (3 CR.)**

Description des régions froides. Propriétés physiques et mécaniques des sols gelés. Régime thermique dans le sol. Mécanique du gel dans les milieux poreux. Consolidation lors du dégel. Fondations pour les régions froides. Stabilité des pentes et investigations géotechniques.

**GCI7082 DURABILITÉ DU BÉTON (3 CR.)**

Fabrication et composition des ciments et des ajouts minéraux, hydratation, microstructure des matrices cimentaires, mécanismes de transport, retraits et fissuration, propriétés et durabilité des granulats, durabilité au gel, agressions chimiques, corrosion des armatures.

**GEO1501 MÉCANIQUE DES VAGUES (3 CR.)**

Nous commencerons par exposer la mécanique classique des fluides non visqueux qui formera la base pour l'étude des processus côtiers et des interactions avec les structures. Les équations de base décrivant les écoulements à surface libre seront tout d'abord présentées, puis la transformation des vagues et leur propagation en eau peu profonde seront introduites.

Les étudiantes et étudiants apprendront à choisir les théories de vague appropriées, depuis les théories en eau profonde à celles en eau peu profonde, c'est-à-dire, l'océan, les rivières et les lacs/réservoirs/ports (ondes stationnaires/balottement).

**GEO1502 MÉTHODES DE CARACTÉRISATION DE LA SOUS-SURFACE (3 CR.)**

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 est de permettre aux participantes et 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 étudiantes et étudiants réaliseront des levés de géologie structurale, des sondages avec méthodes électriques et profilage radar, l'échantillonnage des sols et de l'eau souterraine ainsi que des essais de perméabilité et de conductivité thermique.

**GEO1504 TRANSFERT DE CHALEUR APPLIQUÉ AUX SCIENCES DE LA TERRE (3 CR.)**

Transfert de chaleur en conduction, convection et radiation, changement de phase. Méthodes analytiques et numériques. Problématiques appliquées aux sciences de la terre : géodynamique, géothermie, traçage thermique en hydrogéologie, pergélisol.

**GEO9602 RÉHABILITATION IN SITU DES CONTAMINANTS ORGANIQUES (3 CR.)**

Principes et application des notions reliées à la contamination des sols et aquifères et à leur réhabilitation, avec une emphase sur les contaminants organiques immiscibles.

- 1) Modèles conceptuels de la migration des liquides immiscibles et caractérisation des sites contaminés.
- 2) Propriétés des contaminants immiscibles et partition dans les systèmes multiphasés.
- 3) Contrôle actif et passif des panaches de contaminants dissous.
- 4) Écoulement et diffusion des gaz en milieux poreux.
- 5) Les méthodes de réhabilitation par circulation d'air.
- 6) Transfert de chaleur dans les milieux poreux.
- 7) Les méthodes thermiques de réhabilitation.
- 8) Principes hydrostatiques et hydrodynamiques multiphasés.
- 9) Volumes et transmissivité des liquides immiscibles dans les sols.
- 10) Récupération des phases libres de liquides immiscibles dans les sols.
- 11) Déplacement immiscible et stabilité des fronts de déplacement.
- 12) Principes des solutions tensioactives et de polymères.
- 13) Réhabilitation des zones sources de liquides immiscibles.

#### **ETE424 ISOTOPIE ENVIRONNEMENTALE (3 CR.)**

Ce cours vise à enseigner les principes et les applications des isotopes en tant « qu'empreintes digitales » des molécules chimiques dans l'environnement. Après avoir intégré les notions de base (isotopes stables/radioactifs, fractionnement), on y voit comment les approches isotopiques peuvent être utiles dans les études environnementales, soit pour le traçage hydrologique, hydrogéologique et biogéochimique, ou encore pour suivre le transport et la dégradation des contaminants. On aborde l'utilisation des isotopes des principaux éléments présents dans le cycle hydrologique (C, H, N, O) et de quelques autres éléments utiles pour étudier le cycle de l'eau (ex. : Sr, Cl), le cycle du carbone, la datation des eaux modernes et anciennes, les contaminants et leurs sources (forensics), en plus de quelques autres applications intéressantes en environnement ou autres. L'objectif principal est de familiariser les membres étudiants avec les notions de base nécessaires pour comprendre l'utilisation des isotopes, et à leurs faire découvrir les différentes applications possibles dans le domaine de l'environnement. Ce cours s'adresse autant aux étudiantes et étudiants qui ont un intérêt général pour le sujet sans toutefois vouloir appliquer eux-mêmes la géochimie isotopique à leurs projets, qu'à ceux et celles qui veulent faire de la géochimie isotopique l'un de leurs outils de travail. Les travaux de session seront adaptés en fonction de ces deux profils étudiants.

#### **ETE430 FORMES ET PROCESSUS EN MILIEU FLUVIAL (3 CR.)**

Cours axé sur le processus et les formes associés à la dynamique des cours d'eau. Hydrologie et érosion des versants : ruissellement, infiltration, hydrogramme, mouvement de masse, érosion. Hydraulique : classification des écoulements, profils de vitesses, coefficient de frottement. Transport de sédiment : début d'entraînement, charge de fond, en suspension et dissoute. Morphologie : formes du lit, géométrie hydraulique, cours d'eau rectiligne, à méandres, à chenaux tressés. Problèmes environnementaux : sédiments contaminés, protection des rives, habitats. Travaux pratiques et excursions sur le terrain.

#### **GE09801 TRAITEMENT DES MATÉRIAUX CONTAMINÉS (3 CR.)**

Ce cours a pour objectif de familiariser les participantes et participants avec les méthodes physiques de restauration des

sols, des sédiments et des boues. Ces méthodes comprennent principalement les techniques de concentration gravimétriques et les techniques de flottation. Les procédés de caractérisation nécessaires à leur application seront aussi étudiés.

#### **GLG7101 EXCURSION EN GÉO-INGÉNIERIE (3 CR.)**

Ce cours vise à permettre aux participants d'acquérir des connaissances pratiques dans le domaine de recherche visé par l'excursion en géo-ingénierie, laquelle peut porter sur les disciplines du génie géologique, du génie civil et de la géologie appliquée. Les excursions peuvent toucher les risques naturels (ex. : glissements de terrain), l'hydrogéologie, les matériaux et les routes.

Le travail réalisé pour le cours comprend trois volets : la préparation et l'identification des problématiques de recherche ; l'excursion proprement dite impliquant au moins 5 journées complètes de terrain, incluant la prise de données de l'observation, et finalement la production d'un rapport en versions écrite et audio-visuelle. Travail en équipe ou individuel.

#### **GLG7121 ANALYSE DES GÉOMATÉRIAUX (3 CR.)**

Éléments de minéralogie des argiles (phyllosilicates). Analyses minéralogiques par diffractométrie des rayons X (DRX), analyse thermogravimétrique (ATG) et analyse thermique différentielle (ATD). Microanalyse par microsonde électronique et microscopie électronique à balayage (MEB) couplée à des facilités d'analyse chimique (EDXA) et d'analyse automatique d'images. Analyses granulométriques et microporosimétriques. Propriétés physicochimiques (surface spécifique, capacité d'échange ionique, limites d'Atterberg, S). Influence des caractéristiques des sols fins sur leur comportement géotechnique et application aux sols fins du Québec et d'ailleurs. Familiarisation avec les techniques précédentes à l'aide de démonstrations et de travaux pratiques sur deux échantillons, dont un sol fin imposé et un autre matériau plus pertinent au domaine de recherche de l'étudiant(e).

#### **GLG7201 EAU SOUTERRAINE (3 CR.)**

Revue des principes de base décrivant l'écoulement des fluides dans les milieux géologiques (charge hydraulique, loi de Darcy, propriétés des matériaux). Présentation de l'hydrogéologie de milieux hétérogènes et complexes. Caractérisation des aquifères. Projet d'analyse hydrogéologique d'une région pour caractériser la ressource en eau souterraine.

Remarque : L'étudiant(e) qui a réussi le cours de premier cycle GGL-2600 Hydrogéologie n'a pas à suivre ce cours.

#### **GLG7202 MODÉLISATION EN HYDROGÉOLOGIE (3 CR.)**

Équations d'écoulement et transport. Méthodes de discrétisation. Modèles conceptuels. Conditions aux limites. Écoulement permanent et transitoire. Calibration. Étude de cas et utilisation de logiciels commerciaux pour simuler l'écoulement et le transport de masse en milieu poreux.

#### **GLG7203 HYDROGÉOLOGIE DES CONTAMINANTS (3 CR.)**

Caractérisation des sources de contaminants. Mécanismes de transport et processus physicochimiques d'atténuation des contaminants dans les nappes. Modèles d'écoulement et de transport. Vulnérabilité des terrains naturels à la contamination.

Méthodes de laboratoire et de terrain pour l'évaluation des paramètres de transport.

#### **GLG7204 GESTION ET RESTAURATION DES NAPPES (3 CR.)**

Gestion des eaux souterraines : principes et applications. Prévention de la contamination. Détection de la contamination. Établissement de critères de décontamination. Biorestoration. Récupération et traitement des eaux. Traitement des sols. Politiques et réglementation québécoises. Histoires de cas.

#### **GLG7452 ANALYSE ET GESTION DES RISQUES NATURELS (3 CR.)**

Fournir les éléments de base nécessaires à l'analyse qualitative et quantitative du risque et de sa gestion ; illustrer les principaux types de risques naturels ; comprendre les causes des mouvements de masse (terrestres et marins) et des mécanismes de rupture à partir d'histoires de cas présentés lors de diverses conférences ou ateliers ; assimiler les principaux critères de rupture (sols et roches) et les lois rhéologiques ; maîtriser, par des travaux personnels, les outils d'analyse de la rupture et de la postrupture dans les talus ; appliquer l'analyse et la gestion du risque et déterminer les méthodes de mitigation appropriées à un cas particulier de cartographie du risque d'un secteur donné.

#### **GLG7453 QUATERNAIRE ET ANALYSE DE TERRAIN (3 CR.)**

Méthodes et techniques particulières à l'étude des dépôts quaternaires, processus et environnements sédimentaires, caractérisations et propriétés des dépôts meubles, éléments stratigraphiques, analyse des terrains à l'aide de photographies aériennes et de la télédétection, la photo-interprétation appliquée aux projets en génie et en environnement.

#### **GLG7454 INTÉGRATION DES DONNÉES GÉOSCIENTIFIQUES (3 CR.)**

Ce cours porte sur l'intégration des données géoscientifiques (géophysiques, géochimiques, géologiques, géotechniques et hydrogéologiques) en vue de développer pour une région d'étude un modèle géoscientifique utile aux différents domaines des sciences de la Terre.

Les concepts d'analyse géostatistique de variables régionalisées, d'interpolation et de maillage de ces variables, de réduction par filtrage des champs de potentiel à l'aide de la transformée de Fourier, de représentation cartographique et de superposition des couches d'information géoscientifique sont développés et appliqués à des études de cas réels.

Plusieurs systèmes d'information géographique sont développés pour intégrer les données géoscientifiques disponibles dans une région d'étude et calculer des indices de favorabilité minérale ou de vulnérabilité à un risque naturel donné ou à la contamination des eaux souterraines de cette région.

Remarque : Cours réservé exclusivement aux étudiant(e)s qui n'ont pas suivi le cours GGL-4602 Intégration des données géoscientifiques.

### **COURS COMMUNS AUX DEUX CONCENTRATIONS**

Des cours spéciaux peuvent être offerts par le programme de manière à refléter des besoins ponctuels de formation spécifique.

**GEO9610 SUJET SPÉCIAUX (GÉOLOGIE) (3 CR.)**

**GEO9611 SUJET SPÉCIAUX (GÉOLOGIE) (2 CR.)**

**GEO9612 SUJETS SPÉCIAUX (GÉOLOGIE) (3 CR.)**

**GEO9613 SUJETS SPÉCIAUX (GÉOLOGIE) (3 CR.)**

**GEO9614 SUJETS SPÉCIAUX (GÉOLOGIE) (3 CR.)**

**ETE513 COURS SPÉCIAUX (1 CR.)**

**ETE514 COURS SPÉCIAUX (1 CR.)**

**ETE515 COURS SPÉCIAUX (1 CR.)**

**ETE523 COURS SPÉCIAUX (2 CR.)**

**ETE524 COURS SPÉCIAUX (2 CR.)**

**ETE525 COURS SPÉCIAUX (2 CR.)**

**ETE533 COURS SPÉCIAUX (3 CR.)**

**ETE534 COURS SPÉCIAUX (3 CR.)**

**ETE535 COURS SPÉCIAUX (3 CR.)**

**ETE543 COURS SPÉCIAUX (4 CR.)**

**ETE544 COURS SPÉCIAUX (4 CR.)**

**ETE545 COURS SPÉCIAUX (4 CR.)**

**GSO6082 GESTION DE PROJETS (TÉLÉ-UNIVERSITÉ) (3 CR.)  
OU GLG7601 STAGE DE RECHERCHE (UNIVERSITÉ LAVAL)**

#### **ETE 432 GÉOSCIENCE DES DONNÉES (3 CR.)**

Ce cours constitue une introduction à la programmation et à l'apprentissage automatique (machine learning). Le membre étudiant se familiarisera avec la programmation grâce à Python, un langage de programmation populaire auprès de la communauté scientifique pour sa facilité d'utilisation. Il sera initié à tous les outils courants de la programmation scientifique, c'est-à-dire les bibliothèques de calcul haute performance, d'entreposage de données et de visualisation de données. Le membre étudiant apprendra les bases de l'apprentissage automatique avec une bibliothèque y étant dédiée, scikitlearn. Il se familiarisera avec la gamme d'algorithmes courants de l'apprentissage machine. À terme, il sera en mesure de construire sa propre banque de données, de la nettoyer, de superviser l'entraînement d'un modèle d'apprentissage machine, ainsi que de quantifier et de qualifier sa performance. Le membre étudiant sera alors en mesure d'appliquer l'apprentissage machine aux géosciences et, plus particulièrement, à ses travaux de recherche. Il sera amené à acquérir un savoir-faire en science des données grâce à la réalisation d'exercices dirigés et de travaux pratiques tout au long de ce cours. En somme, ce cours lui permettra de

développer sa polyvalence et d'améliorer son efficacité en recherche.

#### **ETE435 GÉOINFORMATIQUE (3 CR.)**

Ce cours entend doter les membres étudiants d'une capacité de programmation des infrastructures informatiques de production et de manipulation de toute la chaîne de valeurs des données géoréférencées tout en les propulsant au premier plan de la recherche et développement en géoinformatique. Le cours est subdivisé en trois modules. Le premier aborde les différentes méthodes de production de données géoréférencées. Le second porte sur les approches sémantiques de gestion et diffusion standardisées des données facilitant leur accès de manière automatisée. Le dernier présente les technologies et modules disponibles pour la mise en œuvre d'applications géoweb s'appuyant sur les deux premiers modules. L'apprentissage par la pratique sera prise dans le cadre de ce cours. Donc, les notions présentées dans chaque module seront supportées par des bibliothèques et des exemples d'algorithmes utilisant le langage de programmation Python, dans la mesure du possible. Au cours du trimestre, les membres étudiants auront à réaliser un projet consistant en un prototype de plateforme géoinformatique appliqué à un problème en géosciences. Les étudiantes et étudiants sont encouragés à suivre les cours ETE403 ou ETE432 avant de s'inscrire à ce cours, mais il ne s'agit pas de préalables obligatoires.

#### **MÉMOIRE (31 CRÉDITS)**

##### **MÉMOIRE (31 CR.)**

Le mode de présentation des résultats du travail de recherche est le mémoire qui démontre l'aptitude de l'auteur à mener à bien une recherche scientifique. Cependant, avec l'autorisation du comité de programmes, le mémoire peut être constitué d'une ou de plusieurs publications, et ce, conformément au règlement et aux modalités et règles de présentation des mémoires et thèses à l'INRS.

Au cours de la rédaction proprement dite, l'étudiant doit s'assurer, en concertation étroite avec son directeur de recherche, que son projet de mémoire lui permet d'atteindre les objectifs de formation de ce niveau d'études et qu'il est conforme aux modalités générales décrites dans la brochure intitulée « Modalité et règles de présentation des mémoires et thèses à l'INRS »