Doctorat en génie minéral - 1637

RESPONSABLE :

Lucie Coudert
819 762-0971 poste 2572

SCOLARITÉ :

90 crédits, Troisième cycle

GRADES :

Philosophiæ doctor

OBJECTIFS :

Le programme de doctorat en génie minéral a pour but de développer chez le candidat un haut niveau de connaissances, de rigueur intellectuelle, de curiosité scientifique et de créativité nécessaires, tant dans les activités professionnelles de pointe que dans la recherche scientifique et l'enseignement universitaire. Ce programme d'études est conçu pour permettre au candidat d'approfondir ses connaissances dans sa spécialité et d'en repousser les frontières, de comprendre et d'évaluer la littérature scientifique et de développer la maîtrise de méthodes rigoureuses de raisonnement et d'expérimentation.

Quatre axes de spécialisation sont disponibles pour le programme de doctorat en génie minéral : géologie minière, géomécanique, géophysique appliquée et hydrogéologie environnementale.

CONDITIONS D'ADMISSION :

Base études universitaires

Être détenteur ou détentrice d'un diplôme de baccalauréat en ingénierie ou d'un diplôme de maîtrise ou d'un diplôme jugé équivalent par l'École Polytechnique qui témoigne d'une formation appropriée.

Un dossier universitaire de haut niveau ne garantit pas l'accès au programme de doctorat. Le candidat ou la candidate doit obtenir l'appui d'un professeur ou d'une professeure qui accepte de diriger ses travaux.

Admission directe baccalauréat-doctorat
Un candidat ou une candidate qui postule à un programme de doctorat sur la base d'un diplôme de baccalauréat en ingénierie ou l'équivalent doit avoir obtenu une moyenne cumulative d'au moins 3,2/4,0 (ou l'équivalent agréé par Polytechnique Montréal) dans ses études ayant mené au diplôme de baccalauréat en ingénierie (ou l'équivalent).

Toutefois, un candidat ou une candidate dont la moyenne est inférieure à 3,2/4,0 (ou son équivalent) peut être admis ou admise si une recommandation favorable du Comité d'études supérieures du département ou du programme concerné est transmise au registrariat dans les délais prescrits. L'expérience du candidat ou de la candidate peut, entre autres, être tenue en compte par le Comité d'études supérieures.

Dans certains cas, des exigences ou des contraintes particulières peuvent être imposées (cours complémentaires, admission en préparation, admission en maîtrise recherche, etc.).

Note : Pour connaître les conditions d'un passage direct de la maîtrise au doctorat sans soumettre de mémoire, voir l'article 71.3 des règlements particuliers des études supérieures de Polytechnique Montréal.

Les candidatures internationales devront rencontrer des exigences linguistiques pour l'étude de leur dossier d'admission. Les exigences linguistiques pour le doctorat peuvent être consultées sur le site internet de Polytechnique Montréal : www.polymtl.ca/admission/etudes-superieures/conditions-dadmission/5-exigences-linguistiques/51-exigences-linguistiques-pour-le-doctorat-et-la-maitrise-recherche

PLAN DE FORMATION :

Géologie minière

Modélisation géostatistique des gisements. Évaluation minière. Optimisation des exploitations. Planification et contrôle de la production. Traitement des minerais.

GNM9900	Thèse (75 cr.) 15 crédits optionnels

Cours optionnels

La personne étudiante choisit 15 crédits parmi les suivants :

Cours de Polytechnique Montréal

GML6203	Méthodes magnétiques et gravimétriques en géophysique (3 cr.)
GML6204	Méthodes électriques et électromagnétiques en géophysique (3 cr.)
GML6402A	Géostatistique (3 cr.)
GML6502	Tectonophysique (3 cr.)
GML6503	Géologie structurale et tectonique (3 cr.)
GML6604	Caractérisation minéralogique (3 cr.)
GML6905	Séminaires (1 cr.)
MIN8176	Exploitation en souterrain (3 cr.)
MTH6403	Programmation mathématique I (3 cr.)
	ou tout autre cours choisi avec l'accord de la direction de programme, notamment parmi les cours optionnels du DESS en génie minier (https://www.uqat.ca/etudes/irme/dess-en-genie-minier-profil-professionnel/).

Géophysique appliquée

Techniques d'analyse et d'interprétation de méthodes électromagnétiques (magnétotellurique), TBF, etc., et de méthodes de potentiel. Cartographie géologique à l'aide de la géophysique (EM, magnétisme, gravimétrie, radiométrie, etc.). Applications de la géophysique à l'exploration minérale, à la recherche de l'eau, au génie et à l'environnement. Systèmes intelligents pour l'automatisation des méthodes de traitement et d'interprétation géophysiques.

GNM9900	Thèse (75 cr.) 15 crédits optionnels

Cours optionnels

La personne étudiante choisit 15 crédits parmi les suivants :

Cours de Polytechnique Montréal

GML6203	Méthodes magnétiques et gravimétriques en géophysique (3 cr.)
GML6204	Méthodes électriques et électromagnétiques en géophysique (3 cr.)
GML6205	Méthodes sismiques (3 cr.)
GML6905	Séminaires (1 cr.)
GML8201	Techniques géophysiques de proche surface (3 cr.)
	ou tout autre cours choisi avec l'accord de la direction de programme, notamment parmi les cours optionnels du DESS en génie minier (https://www.uqat.ca/etudes/irme/dess-en-genie-minier-profil-professionnel/).

Géomécanique

Mécanique des roches : développement de méthodes d'essais en place. Géostatistique des propriétés mécaniques des massifs rocheux. Mesures des pressions de terrains. Modélisation de la résistance au cisaillement des massifs rocheux. Analyse de stabilité en milieux discontinus. Hydrogéologie : mesure de perméabilité en place et en laboratoire. Simulation et analyse numérique. Écoulements et infiltrations (incidence sur la stabilité des ouvrages en rocher et des haldes de déchets miniers). Géologie de l'ingénieur : pétrographie des agrégats et des bétons. Réactivité aux alcalis. Caractérisation des matériaux de carrières.

GNM9900	Thèse (75 cr.) 15 crédits optionnels

Cours optionnels

La personne étudiante choisit 15 crédits parmi les suivants :

Cours de Polytechnique Montréal

GML6001	Mécanique des roches I (3 cr.)
GML6002	Mécanique des roches II (3 cr.)
GML6003	Séminaire de géomatériaux (3 cr.)
GML6107	Hydrogéologie (3 cr.)
GML6113	Géothermie de basse température (3 cr.)
GML6402A	Géostatistique (3 cr.)
GML6502	Tectonophysique (3 cr.)
GML6503	Géologie structurale et tectonique (3 cr.)
GML6905	Séminaires (1 cr.)
GML8201	Techniques géophysiques de proche surface (3 cr.)
GLQ8170	Géologie de l'ingénieur (3 cr.)
MEC6216	Géothermie et applications (3 cr.)
MEC6404	Éléments finis, concepts et applications (3 cr.)
MEC6405	Analyse expérimentale des contraintes (3 cr.)

ou tout autre cours choisi avec l'accord de la direction de programme, notamment parmi les cours optionnels du DESS en génie minier (https://www.uqat.ca/etudes/irme/dess-en-genie-minier-profil-professionnel/).

Hydrogéologie environnementale

Barrières hydrauliques, tapis d'étanchéité et couverture. Auscultation et suivi d'ouvrages, de sites. Problèmes hydrogéologiques et environnementaux posés par les résidus miniers. Cartographie hydrogéologique et risques de contamination. Modélisation physique (laboratoire) et numérique (ordinateur). Amélioration de la qualité des essais hydrauliques in situ et développement de méthodes d'interprétation : piézométrie, essais de perméabilité, essais de pompage. Amélioration de la qualité des essais de perméabilité en laboratoire. Interactions des propriétés hydrauliques, mécaniques et thermiques des géomatériaux naturels ou artificiels. Géostatistique appliquée à la modélisation en hydrogéologie et aux problèmes de contamination. Géophysique appliquée aux problèmes de pollution des nappes.

GNM9900	Thèse (75 cr.)
	15 crédits optionnels

Cours optionnels

La personne étudiante choisit 15 crédits parmi les suivants :

Cours de l'UQAT

GNM1001	Minéralogie appliquée à l'étude des minerais et leur traitement (3 cr.)
GNM1002	Remblais miniers (3 cr.)
GNM1005	Flottation des minerais (3 cr.)
GNM1008	Environnement minier et méthodes de restauration (3 cr.)

Cours de Polytechnique Montréal

CIV6205	Impacts des projets sur l'environnement (3 cr.)
CIV6301	Hydrologie (3 cr.)
CIV6406	Écoulement des eaux dans les sols (3 cr.)
CIV8240	Traitement de l'eau et des rejets (3 cr.)
GML6003	Séminaire de géomatériaux (3 cr.)
GML6107	Hydrogéologie (3 cr.)
GML6112	Environnement minier et restauration des sites (3 cr.)
GML6402A	Géostatistique (3 cr.)
GML6905	Séminaires (1 cr.)
GML8109	Stockage géologique des déchets (3 cr.)
GML8114	Hydrogéologie des contaminants (3 cr.)
GML8201	Techniques géophysiques de proche surface (3 cr.)
GML8301	Méthodes de minage en souterrain avec remblai (3 cr.) (MIN8176)
GML8312	Gestion intégrée des rejets miniers (3 cr.) (MIN8373)
MIN8373	Environnement et gestion des rejets miniers (3 cr.)
	ou tout autre cours choisi avec l'accord de la direction de programme, notamment parmi les cours optionnels du DESS en génie minier (https://www.uqat.ca/etudes/irme/dess-en-genie-minier-profil-professionnel/).

*** : Disponible à distance**

Règlements pédagogiques :

Pour s'inscrire au cours CIV8240, l'étudiante ou l'étudiant doit avoir réussi au moins 70 crédits du Baccalauréat en génie minéral.

Pour s'inscrire au cours GLQ8170, l'étudiante ou l'étudiant doit avoir réussi au moins 70 crédits du baccalauréat en génie minéral.

Pour s'inscrire au cours GML6113, l'étudiante ou l'étudiant doit avoir réussi au moins 80 crédits du baccalauréat en génie minéral.

Pour s'inscrire au cours GML8201, l'étudiante ou l'étudiant doit avoir réussi au moins 70 crédits du baccalauréat en génie minéral.

Pour s'inscrire au cours GML8301, l'étudiante ou l'étudiant doit avoir réussi au moins 70 crédits du baccalauréat en génie minéral.

Pour s'inscrire au cours GML8312, l'étudiante ou l'étudiant doit avoir réussi au moins 70 crédits du baccalauréat en génie minéral.

Pour s'inscrire au cours MIN8176, l'étudiante ou l'étudiant doit avoir réussi au moins 70 crédits du baccalauréat en génie minéral.

Pour s'inscrire au cours MIN8373, l'étudiante ou l'étudiant doit avoir réussi au moins 70 crédits du baccalauréat en génie minéral.

NOTES :

Ce programme de Polytechnique Montréal est offert en extension par l'UQAT.

ATELIERS COMPLÉMENTAIRES LIÉS À L'EXAMEN GÉNÉRAL DE SYNTHÈSE

Les personnes étudiantes inscrites au doctorat doivent suivre les quatre premiers ateliers de formation complémentaire au doctorat d'un crédit chacun. :

GNM7003 Stratégies de recherche doctorale en génie (équivalent CAP7003 à Polytechnique Montréal)
GNM7005 Traitement de l'information scientifique et technique (équivalent CAP7005 à Polytechnique Montréal)
GNM7011 Approches créatives en recherche (équivalent CAP7011 à Polytechnique Montréal)
GNM7015 Conduire un projet de recherche (équivalent CAP7015 à Polytechnique Montréal)

Ces crédits seront hors programme et en sus des 90 crédits du doctorat. L'UQAT et Polytechnique Montréal élaboreront conjointement des moyens pour que les personnes étudiantes de l'UQAT suivent ces ateliers en minimisant leurs déplacements.

Les 4 crédits obligatoires des Ateliers complémentaires à la formation doctorale liés à l'examen de synthèse doivent être complétés et réussis au plus tard à la fin du 4e trimestre d'études après la première inscription de la personne étudiante au doctorat (en excluant les trimestres d'interruption d'études dûment autorisés). L'étudiante ou l'étudiant ne répondant pas à cette exigence reçoit la mention « Autorisé à poursuivre sous conditions » dans son relevé de notes. Une personne étudiante qui n'a pas réussi au trimestre suivant les 4 crédits obligatoires des Ateliers complémentaires à la formation doctorale liés à l'examen de synthèse reçoit la décision « N'est plus autorisé à poursuivre », ce qui entraîne l'annulation de la candidature.

Le cours SST6000 Atelier de formation en santé-sécurité (0 crédit) d'une durée de 3 heures, de Polytechnique Montréal, ou son équivalent à l'UQAT autorisé par Polytechnique Montréal, est obligatoire et doit être suivi en début de programme.

Les candidates et les candidats qui détiennent déjà un diplôme d'études supérieures pourront obtenir une exemption de la totalité ou d'une partie de leurs crédits de cours de cycles supérieurs selon les modalités spécifiées à l'article 73.1.2 des règlements particuliers des études supérieures de Polytechnique Montréal.

Toutes les personnes étudiantes au doctorat seront soumises à un examen général de synthèse. Cet examen a pour but de vérifier la capacité de synthèse de la personne étudiante et de s'assurer qu'elle possède les connaissances et la maturité indispensables pour œuvrer dans son domaine d'études et y conduire une recherche approfondie et originale.

PIÈCES SUPPLÉMENTAIRES ET DIRECTIVES PARTICULIÈRES :

Les personnes qui soumettent une candidature pour ce programme doivent fournir, au moment de leur admission, une copie de tous les relevés de notes de leurs études postsecondaires et universitaires.

CIV6205

Impacts des projets sur l'environnement

Objectifs : À la fin du cours, la personne étudiante sera en mesure : - d'appliquer les méthodologies propres aux études d'impact sur l'environnement (ÉIE) ; - de comprendre les enjeux sociaux et biophysiques reliés aux études d'impacts sur l'environnement ; - de juger des impacts d'un projet ; - d'appliquer les principes de la gouvernance environnementale et du développement durable dans son travail ; - de s'intégrer à une équipe professionnelle ayant comme mandat de mener à terme une ÉIE, ou à une équipe d'un secteur de l'administration publique chargée d'encadrer le processus des ÉIE ; - de formuler des recommandations suite à des résultats d'étude d'impacts sur l'environnement. Le cours vise à former les ingénieurs ou autres scientifiques aux impératifs de l'évaluation environnementale (ÉIE) telle qu'elle s'applique aux projets, aux plans, aux programmes et aux politiques, en insistant plus particulièrement sur les conséquences techniques des projets et sur une vision systémique de la gouvernance environnementale et du développement durable.

Contenu : Processus et cadres d'évaluation et d'examen des impacts des projets, des plans et des programmes. Examen des diverses réglementations, québécoise et canadienne. Participation et audiences publiques (BAPE). Analyse des impacts et méthodologies. Préparation et rédaction d'une étude d'impact. Examens de qualité. Aspects biophysiques, humains et socio-économiques. Audits et systèmes de management environnementaux (SME). Évaluations environnementales stratégiques. Études de cas.

CIV6301

Hydrologie

Objectifs : À la fin du cours, la personne étudiante sera en mesure : - d'utiliser les différents outils d'évaluation de la ressource eau disponibles; - de résoudre des problèmes pratiques ayant un lien avec la gestion de l'eau tels que fréquemment rencontrés dans la conception et l'exploitation des structures hydrauliques; - de proposer et d'implanter des solutions viables et innovatrices en gestion de l'eau; - de s'investir à la recherche et à la communication des connaissances et de produire des résultats suite aux travaux de recherche.

Contenu : Introduction à l'hydrologie paramétrique. Mesures et acquisition des données en hydrologie. Analyse des fréquences et du risque en hydrologie. Modélisation hydrologique : bassins urbains, bassins ruraux, petits bassins, grands bassins. Design en hydrologie : structures mineures et structures majeures. Études spéciales de quelques phénomènes : influence des changements climatiques sur le régime hydrologique des cours d'eau, développement durable. Fonte de neige. Gestion des eaux et source des conflits. Crues, précipitations, fonte de neige et sédimentation.

CIV6406

Écoulement des eaux dans les sols

Objectifs : À la fin du cours, la personne étudiante sera en mesure : - de modéliser un contexte d'écoulement en milieu poreux en régime permanent pour des conditions bidimensionnelles avec conditions aux frontières connues et inconnues (écoulement à surface libre), - d'analyser l'aspect écoulement dans les sols pour des applications pratiques du génie civil comme les ouvrages de retenue d'eau, les infrastructures routières, la stabilisation des talus, et - de concevoir des ouvrages de rabattement de nappe et d'évaluer les caractéristiques techniques des équipements requis. Le cours vise ainsi à: - faire un rappel des notions de base en hydrodynamique et en mécanique des sols et intégrer ces deux disciplines pour procéder à une évaluation réaliste des conditions de stabilité des massifs de dépôts meubles intimement liées au régime d'écoulement souterrain, et - fournir un outil analytique adéquat pour l'évaluation des débits d'infiltration, des gradients hydrauliques de sortie et des pressions hydrostatiques impliqués dans les ouvrages enterrés.

Contenu : Écoulement permanent en milieux homogènes et multicouches, saturés/non saturés, isotropes et anisotropes. Solutions graphiques, analogiques et numériques. Applications aux travaux de génie civil : barrages en remblai (gradients critiques, boulance, érosion interne, filtres granulaires et géo synthétiques); infrastructures routières et talus (systèmes de drainage interne). Assèchement des fouilles (utilisation des réseaux et des formules analytiques, choix des méthodes de rabattement de nappe).

CIV8240

Traitement de l'eau et des rejets

Objectifs :

Contenu : Traitement de l'eau et des rejets dans une perspective de services publics (génie municipal). Sources de contamination. Caractéristiques des eaux de surface, des eaux souterraines et des eaux usées municipales. Exigences réglementaires pour la qualité de l'eau potable et le rejet d'eaux usées. Traitement des eaux par procédés physiques et chimiques: coagulation, floculation, décantation, filtration, désinfection, stabilisation, oxydation, précipitation. Procédés biologiques: biomasse libre (carbone organique, azote, phosphore) et biomasse fixée, en conditions aérobie et anaérobie. Gestion et traitement des déchets solides et dangereux, des sols contaminés et des rejets gazeux. Visites industrielles.

GLQ8170

Géologie de l'ingénieur

Objectifs :

Contenu : Rôle de l'ingénieur géologue dans les travaux de construction civils. Méthodes d'exploration. Cartes géologiques et géotechniques. Instrumentation géotechnique. Géomatériaux utilisés en construction, pétro-ingénierie. Pétrographie des granulats et problèmes de réactivité. Injections des massifs rocheux. Choix des méthodes d'excavation. Modèles de prédiction de la performance des méthodes d'excavation au rocher (forage-sautage, tunneliers, mineurs en continu, brises-roche). Principes de conception des tunnels et des fondations au rocher.

GML6001

Mécanique des roches I

Objectifs :

Contenu : Applications de la mécanique des roches aux travaux d'ingénierie. Propriétés des roches : mécanismes de déformation et de rupture, facteurs d'influence, modèles constitutifs. Propriétés des massifs rocheux: résistance au cisaillement des discontinuités géologiques et des massifs fragmentés, modèles d'extrapolation des résultats d'essais en laboratoire, modèles constitutifs. Instabilités des excavations souterraines par excès de contraintes: états de contraintes, stabilité à court et à long terme, soutènement naturel, soutènement artificiel. Fondations : capacité portante des massifs rocheux, prévision des tassements, calcul des fondations. Design des conduites forcées : conduites non revêtues, calcul des revêtements de béton et des blindages d'acier.

GML6002

Mécanique des roches II

Objectifs : Objectifs généraux : Donner à la personne étudiante les outils nécessaires pour procéder à l'investigation d'un site dans le but de réaliser des travaux d'ingénierie en rocher et de concevoir des conduites forcées et des fondations avec des modèles analytiques, empiriques et numériques. Objectifs particuliers : À la fin du cours, la personne étudiante sera en mesure : - de comprendre les principes de l'instrumentation et leurs domaines d'application; - de choisir des essais en place requis pour l'obtention de certains paramètres de design; - d'interpréter les résultats des essais en place; - d'évaluer l'influence du remaniement; - de choisir la technique de mesure de contrainte appropriée à un contexte donné; - d'interpréter des résultats de mesure de contrainte; - de procéder à des relevés structuraux et de présenter les résultats dans une forme interprétable; - de déterminer des caractéristiques statistiques des familles d'éléments structuraux; - de procéder à des analyses de stabilité par projection stéréographique méridienne pour des talus et des souterrains; - de déterminer des pressions hydrauliques dans des massifs rocheux; - de modéliser les écoulements dans les discontinuités géologiques; - de concevoir des conduites forcées et des fondations en rocher.

Contenu : Investigation de sites. Détermination des propriétés des roches : essais en laboratoire, propriétés résistantes, relations contrainte-déformation, dispersion, échantillonnage, échelle, forme, saturation. Détermination des propriétés des massifs rocheux: essais en place. Pressions de terrains : techniques de mesure, choix des techniques, modèles de calcul des contraintes. Relevés structuraux : orientation préférentielle, dispersion, écart. Systèmes de classification géomécanique des massifs. Instabilités structurales: analyses de stabilité par projection stéréographique, talus, souterrains. Pressions hydrauliques.

GML6003

Séminaire de géomatériaux

Objectifs : À la fin du cours, la personne étudiante sera en mesure : - de décrire clairement et rigoureusement, par écrit et oralement, la nature des problématiques étudiées et l'état des connaissances associées; - d'analyser et de synthétiser un ensemble d'articles touchant des sujets connexes à son domaine de formation et de recherche; - de réaliser, sous supervision, des essais de laboratoire ou de simulation informatique; - d'expliquer et d'interpréter critiquement les résultats obtenus d'essais de laboratoire ou de simulation informatique; - de comparer les différentes méthodes de solution au problème étudié et de recommander les plus pertinentes.

Contenu : Formation individualisée offerte aux étudiants et étudiantes par un (ou plusieurs) professeur(s), afin d'acquérir des connaissances d'appoint sur des sujets qui sont peu ou pas couverts dans les autres cours disponibles. Rencontres hebdomadaires portant sur des lectures d'articles scientifiques, des essais de laboratoire, des analyses, des calculs types ou des simulations informatiques. Présentations orales sur des sujets d'intérêt, offertes au département et ailleurs. Rapport synthèse et présentation orale.

GML6107

Hydrogéologie

Objectifs : Le cours vise à faire acquérir à la personne étudiante des connaissances avancées en hydrogéologie, que ce soit pour la recherche en eau potable, l'évaluation des écoulements naturels ou des migrations de contaminants. À la fin du cours, la personne étudiante sera en mesure : - d'utiliser les divers outils de l'hydrogéologue, - de planifier une étude hydrogéologique, - d'analyser ses différentes composantes (essais en place, en laboratoire, corrélations), - de porter un jugement critique sur les différentes méthodes disponibles et les divergences éventuelles de leurs résultats.

Contenu : Principes et équations des écoulements souterrains. Problèmes divers d'ingénierie reliés aux eaux souterraines. Essais de perméabilité en laboratoire. Anisotropie. Réseaux d'écoulement. Transport, diffusion et mécanismes physico-chimiques et migration des contaminants. Détermination des caractéristiques

hydrogéologiques en place. Essais de pompage. Écoulement en milieux fissurés.

GML6112

Environnement minier et restauration des sites

Objectifs :

Contenu : Problématique de gestion des rejets miniers. Processus de formation du drainage minier acide (DMA). Techniques de prédictions du DMA. Modélisation géochimique du DMA. Mouvements de l'eau et des gaz. Méthodes de contrôle du DMA. Couvertures en eau, couvertures multicouches. Traitement biologique passif du DMA. Étude de cas.

GML6113

Géothermie de basse température

Objectifs :

Contenu : Transfert de chaleur en milieux poreux et fracturé, saturé et non saturé, avec et sans advection. Traçage thermique et mesures de terrain et de laboratoire en géothermie. Méthodes avancées d'interprétation des essais de réponse thermique. Conception des systèmes géothermiques utilisant des boucles ouvertes, des puits à colonne, des boucles fermées horizontales ou des piliers et fondations énergétiques. Interférence thermique et hydraulique. Efficacité énergétique, coûts de construction et optimisation financière. Modélisation couplée des processus thermique et hydraulique dans un champ géothermique. Stockage thermique souterrain. Utilisation des échangeurs géothermiques et des thermosiphons pour le refroidissement des pergélisols, des haldes et parcs à résidus, pour le chauffage des sols et la dégradation des contaminants organiques.

GML6203

Méthodes magnétiques et gravimétriques en géophysique

Objectifs : À la fin du cours, la personne étudiante sera en mesure : - d'interpréter quantitativement les données gravimétriques et magnétiques de levés de prospection géophysique ; - de décrire les diverses méthodes de modélisation et d'inversion ; - de réaliser des codes d'inversion avec contraintes ; - de décrire les limites de l'interprétation et les erreurs associées ; - de définir la géométrie des sources et la dimension associée (2D, 2½D, 3D); - de critiquer les méthodes utilisées.

Contenu : Théorie du potentiel (gravimétrique, magnétique); théorème de Gauss, existence du potentiel (problèmes interne et externe), conditions de Dirichlet et Neumann, prolongement des champs. Modélisations numériques bi- et tridimensionnelles : méthode par intégrale de surface et de contour, méthode par volumes finis. Méthodes inverses : moindres carrés, existence de la solution. Problèmes surdéterminés, inverse généralisé, méthode SVD, moindres-carrés amortis, Marquardt-Levenberg. Problèmes sous-déterminés : régularisation ; structure minimum, support compact. Récents développements en gravimétrie et magnétométrie.

GML6204

Méthodes électriques et électromagnétiques en géophysique

Objectifs : À la fin du cours, la personne étudiante sera en mesure : - de traiter des données magnétotelluriques (MT); - de produire une interprétation 1D et 2D de sondages magnétotelluriques : degré de distorsion, direction structurale, modèle de résistivité électrique; - de traiter les données de sondages magnétotelluriques dans le domaine du temps (« TEM »); - de produire une interprétation 1D et pseudo-2D de sondages « TEM » : modèle de résistivité électrique; - de planifier une campagne de mesures MT ou « TEM » en fonction du problème géologique donné : pas d'acquisition des sondages, gamme de fréquences ou de temps, résolution spatiale; - de déterminer les limites de résolution : analyse de sensibilité, erreurs, profondeur d'investigation.

Contenu : Principes de propagation des ondes électromagnétiques et interaction avec les matériaux terrestres. Méthode magnétotellurique : théorie, notion de tenseur d'impédances et ses propriétés, acquisition et traitement des données, correction pour la distorsion galvanique et l'effet statique. Modélisation numérique bi- et tridimensionnelle. Interprétation : méthodes inverses en 1D, 2D et 3D. Cas d'applications aux domaines de l'exploration, de l'hydrogéologie et de la géothermie. Méthodes électromagnétiques transitoires dans le domaine temporel : théorie, détermination des réponses par transformée de Laplace des réponses dans le domaine de fréquence, concept des ronds de fumée, acquisition et traitement des données pour les systèmes au sol, en forage et en aéroporté. Modélisation numérique bi- et tridimensionnelle. Interprétation : méthodes inverses en 1D et pseudo-2D. Cas d'applications aux domaines de l'exploration et de l'environnement.

GML6205

Méthodes sismiques

Objectifs : À la fin du cours, la personne étudiante sera en mesure : 1) d'enseigner les principes fondamentaux des trois genres primaires d'ondes sismiques rencontrées dans les travaux sur le terrain; 2) de donner une base solide de la méthode de sismique réflexion qui peut être utilisée dans les domaines d'exploration minière et pétrolière et génie environnemental; 3) de donner une base solide de la méthode de sismique réfraction utilisée dans les domaines de génie civil et environnemental, et en exploration pétrolière.

Contenu : Principes fondamentaux des ondes sismiques : réflexion et réfraction des ondes planes, ondes de la surface. Sismique réflexion : méthodes d'acquisition, traitement des données, estimation des vitesses RMS sismiques, introduction à l'interprétation, application à l'exploration minérale et pétrolière. Sismique réfraction : estimations des vitesses des roches, inversion 1-D, introduction à la tomographie. Applications à la structure de la croûte, à l'exploration pétrolière, au génie et à l'environnement.

GML6402A

Géostatistique

Objectifs : Géostatistique linéaire, stationnaire et non stationnaire, univariable et multivariable. Variances de blocs, de dispersion, d'estimation. Krigeages simple, ordinaire, avec dérive, avec dérive externe; formulation duale. Cokrigeage. Variogrammes, variogrammes croisés, fonctions de covariances, covariances croisées; modèles et conditions d'admissibilité. Krigeages et cokrigeages d'indicatrices et multigaussiens. Simulations non conditionnelles et conditionnelles : méthodes des bandes tournantes, séquentielles, matricielles, spectrales; post-conditionnement. Cosimulations. Simulations plurigaussiennes, multipoints. Recuit simulé, déformations graduelles. Applications en hydrogéologie, environnement, géophysique, estimation des ressources, exploitation des mines.

Contenu :

GML6502

Tectonophysique

Objectifs : À la fin du cours, la personne étudiante sera en mesure : - de connaître les propriétés physiques (densité, élasticité, plasticité, rhéologique, aimantation, conductivité thermique, conductivité électrique, radioactivité) des roches et les phénomènes physiques qui régissent l'origine et l'évolution du globe terrestre et le mouvement des plaques tectoniques; - de comprendre comment l'analyse de ces phénomènes physiques nous permet de mieux cerner la constitution, la dynamique et les structures internes du globe et des phénomènes géologiques qui affectent l'homme (séismes, mouvement tectonique, flux géothermique, topographie, géomagnétisme, volcans, etc.); - de connaître l'utilisation de ces phénomènes physiques pour établir des méthodes d'investigation de la géodynamique (anisotropie sismique, par exemple) et les structures continentales; - de connaître la théorie des plaques qui forme le cadre unanimement accepté des idées sur tectonique et dynamique du globe.

Contenu : Élasticité du globe terrestre : séismes, mécanisme au foyer, vitesse des ondes élastiques, anisotropie sismique et structure interne du globe. Plasticité du globe terrestre : défauts cristallins, zones du cisaillement, convection du manteau, isostasie et stabilisation des cratons. Conductivité thermique et structures lithosphériques. Dynamique des systèmes solide-fluide : fusion de roches, extraction et ascension des magmas, dorsales océaniques et points chauds. Processus orogéniques et mécaniques des plaques de lithosphère.

GML6503

Géologie structurale et tectonique

Objectifs :

Contenu : Théorie des plaques tectoniques; comportement rhéologique de la croûte et du manteau; mesures de contrainte et de déformation; mécanismes de déformation et zones de cisaillement; chaînes de subduction, de collision et de décrochement; structures océaniques et continentales de distension ; méthodes d'analyse tectonique ; traitement statistique et interprétation des éléments structuraux ; discussion de cas typiques.

GML6604

Caractérisation minéralogique

Objectifs : À la fin du cours, la personne étudiante sera en mesure : - d'expliquer les principes de fonctionnement de l'optique électronique appliquée à la MEB; - de décrire les diverses interactions « électrons-matière », les signaux qui en résultent (électrons rétrodiffusés, secondaires, rayons X) et les caractéristiques de ces signaux; - de décrire les avantages, les limitations et les domaines d'application de la microscopie électronique à balayage et de la spectrofluorescence des rayons X; - d'interpréter, de façon qualitative et quantitative, les caractéristiques d'une image de MEB; - de manipuler le MEB pour mettre en pratique les techniques d'analyse ; - d'analyser des spectres rayons X pour en tirer des résultats qualitatifs et quantitatifs concernant l'analyse chimique élémentaire de l'échantillon; - d'interpréter les analyses d'un échantillon minéral; - d'interpréter les caractéristiques d'images prises en microscopie électronique à balayage. Connaissant le type de signal utilisé pour obtenir ces images et les conditions de fonctionnement du MEB, de justifier qualitativement et quantitativement les caractéristiques de ces images; - d'identifier les éléments mis en évidence sur un spectre de rayons X obtenu au MEB; - de quantifier une analyse rayons X obtenue au MEB.

Contenu : Introduction aux principes et aux applications des techniques expérimentales de caractérisation. Optique électronique, interactions électrons-matière et signaux émis, microscopie électronique à balayage (MEB), interprétation des images, spectroscopie des rayons X, obtention des spectres de rayons X, quantification d'analyses par rayons X. Application du MEB en génie minéral.

GML6905

Séminaires

Objectifs : À la fin du cours, la personne étudiante sera en mesure : - de se mettre au courant des développements récents en recherche dans un des domaines suivants: hydrogéologie, géologie de l'ingénieur, géophysique appliquée, métallogénie, géostatistique et évaluation minière, optimisation des opérations minières, automatisation et informatique minières; - de développer le sens critique et l'aptitude à l'analyse et à la synthèse de la littérature du domaine

étudié; - d'apprendre à faire la présentation orale d'une synthèse.

Contenu : Exposé et discussions de sujets choisis en rapport avec les cours ou les travaux de recherches du département : hydrogéologie, géologie de l'ingénieur, géophysique appliquée, métallogénie, géostatistique et évaluation minière, optimisation des opérations minières, automatisation et informatique minières.

GML8109

Stockage géologique des déchets

Objectifs : À la fin du cours, la personne étudiante sera en mesure : - de comprendre et d'utiliser les techniques d'analyse et les méthodes d'évaluation des sites, les aspects légaux, les principes d'aménagement du territoire, les notions de périmètres de protection ; - d'évaluer des formations géologiques pouvant servir de barrières naturelles ; - de comprendre et d'utiliser les critères de conception des barrières, les critères de performance et les méthodes directes et indirectes d'évaluation des performances, de connaître les méthodes de construction ; - de concevoir des barrières d'étanchéité à l'aide d'argile compactée ; - de concevoir des barrières d'étanchéité à l'aide de mélanges sol-bentonite ; - de concevoir des barrières d'étanchéité à l'aide de géomembranes ; - de concevoir des coupures verticales ; - de concevoir des systèmes de drainage, de filtration et de captage du lixiviat ; - de comprendre et d'utiliser les techniques d'analyse en laboratoire et les méthodes d'analyse numérique des phénomènes. Objectifs généraux des laboratoires Les travaux de laboratoire permettent à la personne étudiante : - de mettre en pratique les méthodes de conception des différents types de barrières ; - de quantifier les flux de liquides et de gaz, les vitesses de migration de certains contaminants, les taux de certaines réactions (aspects physiques, chimiques, thermiques et radioactifs) ; - d'étudier et de quantifier la performance de certaines barrières à l'aide d'essais de perméabilité et d'essais de diffusion et d'absorption (barrière monocouche) et d'essais en colonne (barrière multicouche) ; - de modéliser, à l'aide de logiciels commerciaux, des phénomènes et réactions qui interviennent dans le stockage géologique des déchets.

Contenu : Sélection de sites pour entreposage de déchets liquides ou solides. Conditions hydrogéologiques et périmètres de protection. Barrières naturelles ou construites. Tapis d'étanchéité en argile, sol-bentonite, géomembranes. Couvertures multicouches et barrières capillaires. Coupures verticales, parois moulées, tranchées de boue. Critères de conception, méthodes de construction, surveillance de la performance. Systèmes de drainage, filtration et collecte de lixiviat. Études de cas pour divers stockages. Notions d'études en laboratoire et de modélisation numérique des phénomènes.

GML8114

Hydrogéologie des contaminants

Objectifs :

Contenu : Origine et propriétés physico-chimiques des principaux contaminants organiques, inorganiques et bactériologiques présents dans les sols et les aquifères. Aspects législatifs des sols et des eaux souterraines contaminés. Identification des récepteurs de l'eau souterraine et critères applicables. Caractérisation environnementale de type phase I et II. Stratégies et techniques d'échantillonnage des sols et des eaux souterraines. Modèles conceptuels de migration des contaminants miscibles et immiscibles, denses et légers. Conception et interprétation d'essai de récupération d'hydrocarbures en phase flottante en vue de la caractérisation d'un site. Migration et influence de l'hétérogénéité d'un site sur le transport des polluants. Processus d'atténuation naturelle affectant la qualité des eaux souterraines. Suivi environnemental de la qualité des eaux souterraines.

GML8201

Techniques géophysiques de proche surface

Objectifs :

Contenu : Types de problèmes à faible profondeur rencontrés dans les sols et le roc en génie, en hydrogéologie et en environnement et transposition en modèles de distribution de propriétés physiques. Relations entre propriétés physiques des matériaux et réponses géophysiques. Techniques géophysiques à haute résolution : microgravimétrie, gradiométrie magnétique, tomographie électrique, méthodes électromagnétiques, sismique réflexion, radar géologique. Principes, réponses et interprétation; résolution spatiale, bruits et profondeur d'investigation. Avantages et limitations de chacune des techniques. Applications et études de cas.

GML8301

Méthodes de minage en souterrain avec remblai

Objectifs :

Contenu : Méthodes de minage en souterrain pouvant utiliser des remblais. Types et caractéristiques des remblais. Rôles et techniques de mise en place des remblais. Drainage et consolidation des remblais. Calculs des contraintes dans un chantier remblayé à l'aide des solutions analytiques et numériques. Estimation des pressions sur les barricades à l'aide des solutions analytiques et numériques. Conception des barricades. Calculs des résistances requises des remblais cimentés exposés latéralement ou horizontalement à la base à l'aide des solutions analytiques et numériques. Recettes et transport de remblais. Évaluation de la quantité nécessaire et du coût associé à la fabrication et au transport des remblais.

GML8312

Gestion intégrée des rejets miniers

Objectifs :

Contenu : Gestion intégrée des rejets miniers. Conception pour la fermeture. Transport et déposition des rejets de concentrateur et des roches stériles. Rejets densifiés. Couche de contrôle des écoulements pour les haldes à stériles. Co-disposition. Inclusions de roches stériles (IRS). Désulfuration environnementale. Remblayage des chantiers souterrains et conception des barricades en roches stériles. Remblayage des fosses à ciel ouvert et concept de l'enveloppe perméable. Valorisation des rejets miniers dans les routes, digues, bermes, inclusions drainantes et systèmes de recouvrement. Valorisation des rejets miniers hors site. Prise en compte des changements climatiques dans la gestion des rejets. Études de cas.

GNM1001

Minéralogie appliquée à l'étude des minerais et leur traitement

Objectifs : Acquérir les notions de base de la minéralogie appliquée au domaine miner et posséder une connaissance approfondie des méthodes de caractérisations physique, chimique et minéralogique.

Contenu : Les différentes méthodes de caractérisation minéralogique qui peuvent être appliquées à l'étude des diverses minéralisations métalliques et non métalliques ainsi que leur application à l'exploitation minière au travers de toutes ses étapes: prospection, extraction et traitement du minerai. Les méthodes de caractérisation physique et chimique; les analyses spectroscopiques; les microscopies optique et électronique. La minéralogie et quelques notions de cristallochimie des principales familles de minéraux.

GNM1002

Remblais miniers

Objectifs : Connaître les divers remblais miniers utilisés et les avantages/désavantages de chacun. Acquérir les notions de base nécessaires au design et à l'implantation du remblais dans une opération minière. Connaître les caractéristiques des méthodes de mesure ainsi que les méthodes de contrôle de qualité.

Contenu : Les divers types de remblais selon le contexte d'utilisation et leur classification; leurs méthodes de préparation et de mises en place. Les caractéristiques physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques des remblais; les diverses méthodes de mesure au laboratoire et in situ; le contrôle de qualité. La chimie des agents de cimentation. Les notions de design de remblai, les calculs standards de stabilité, d'autoportance et dimensionnement des ouvrages de retenus (barricades).

GNM1005

Flottation des minerais

Objectifs : Comprendre le phénomène de la flottation des minerais appliquée à la gestion des résidus miniers et connaître le principe de la désulfuration des résidus miniers dans ses dimensions théorique, technique et économique.

Contenu : Flottation des minerais appliquée à la gestion des résidus miniers. Désulfuration des résidus miniers en tant qu'application de la flottation des minerais: aspects théorique, technique et économique. Essor de la désulfuration en parallèle avec l'utilisation des remblais en pâte: théorie de la flottation non sélective des sulfures; réactifs de flottation; exemples typiques de procédés (laboratoire et industriels); simulation et contrôle du procédé de désulfuration.

GNM1008

Environnement minier et méthodes de restauration

Objectifs : Connaître les aspects et problèmes environnementaux liés à l'exploitation minière. Acquérir les bases nécessaires à l'environnementaliste pour l'optimisation des procédures de gestion des rejets les plus efficaces et les plus économiques.

Contenu : Description des principaux problèmes environnementaux générés durant les exploitations minières tels que le drainage minier acide (cas des minerais sulfureux), la radioactivité (cas des minerais radioactifs), ainsi que les problèmes liés à la gestion des rejets miniers. Notions de géochimie et minéralogie appliquée à l'étude de la prédiction du degré de pollution des rejets miniers. Les différentes méthodes de gestion des résidus miniers et de restauration des sites pollués; sélection des méthodes de restauration basée sur les aspects techniques et économiques.

GNM9900

Thèse

Objectifs : L'étudiant au doctorat en génie minéral doit rédiger une thèse qui témoigne d'une aptitude à mener à bien une recherche originale en génie minéral. La thèse sera soutenue devant jury.

Contenu :

MEC6216

Géothermie et applications

Objectifs :

Contenu : Ressources géothermiques à haute et basse température. Température du sol, gradient géothermique, propriétés du sol. Notions d'hydrogéologie. Survol des différents systèmes à basse température : circuits ouverts et fermés; systèmes verticaux et horizontaux. Couplage aux bâtiments et aux pompes à chaleur. Transfert de chaleur dans le sol : méthodes analytiques et numériques. Test de réponse thermique. Résistance thermique des puits. Conception, dimensionnement et simulation des systèmes verticaux. Applications : chauffage et climatisation des bâtiments, pieux énergétiques, gel du sol, « geocooling », stockage saisonnier par puits géothermiques.

MEC6404

Éléments finis, concepts et applications

Objectifs :

Contenu : Approche directe d'analyse matricielle, principe d'énergie potentielle minimum et méthode de Rayleigh-Ritz. Fonctions d'interpolation. Formulations compatibles de divers types d'éléments : solide, poutre, plaque et coque.Corps axisymétriques. Problèmes aux valeurs propres : analyses de vibration et de stabilité. Analyses non linéaires. Divers problèmes de champ. Problèmes avec contraintes. Formulations variationnelles : mixte, généralisée ethybride.

MEC6405

Analyse expérimentale des contraintes

Objectifs : À la fin du cours, la personne étudiante sera en mesure : - d'expliquer et d'appliquer les notions théoriques et pratiques des techniques expérimentales les plus courantes pour la mesure des déformations et des contraintes sur prototypes ou modèles ; - d'analyser et d'interpréter les résultats obtenus à l'aide de ces différentes techniques ; - de déterminer les caractéristiques métrologiques d'un capteur en régimes statique et dynamique ; - d'évaluer et de réduire les erreurs de mesures associées aux capteurs, aux bruits parasites et aux incertitudes des instruments de mesure ; - de concevoir des capteurs à base de jauges de déformation ; - d'expliquer le fonctionnement des systèmes d'acquisition de données et des logiciels de contrôle de ces systèmes. Objectifs généraux des laboratoires : À la fin des laboratoires du cours « Analyse expérimentale des contraintes », la personne étudiante sera capable : - de réaliser des essais sur prototypes à l'aide de plusieurs techniques expérimentales ; - d'installer des jauges sur un prototype métallique ; - de monter des circuits de mesure et de compensation basés sur le pont de Wheatstone ; - de mesurer l'état de déformation et de contrainte d'un prototype ; - d'utiliser efficacement les appareils de mesure les plus courants (ex. multimètre, indicateur de déformation, systèmes d'acquisition de données informatisés, polariscope à transmission, oscilloscope) ; - d'exploiter les principales caractéristiques des systèmes d'acquisition de données informatisés pour réaliser des mesures précises ; - de déterminer les caractéristiques métrologiques d'un capteur ; - d'exploiter et de modifier un logiciel de contrôle pour l'acquisition de données.

Contenu : Notions théoriques et pratiques sur les techniques expérimentales les plus courantes pour la mesure des déformations et des contraintes. Extensométrie par jauges à résistance électrique : facteur de jauge, ponts de Wheatstone, compensation en température, étalonnage Shunt, problèmes associés aux circuits, techniques de collage. Rosettes : états apparent et réel de déformation. Conception de capteurs à base de jauges. Caractéristiques métrologiques du mesurage : capteurs actifs et passifs, erreurs de mesure, étalonnage, réponse en régime dynamique. Chaîne de mesure, scrutation multivoie, filtrage des signaux, systèmes d'acquisition de données informatisés, logiciel de contrôle (LabVIEW). Techniques photoélastiques par transmission et réflexion : polariscopes, direction et intensité des contraintes. Revue des autres techniques. Travaux pratiques en laboratoire.

MIN8176

Exploitation en souterrain

Objectifs : À la fin du cours, la personne étudiante sera en mesure : - d'intégrer les principes de développement durable dans un projet minier; - de déterminer la profondeur optimale d'un gisement pour son exploitation en fosse ou en souterrain; - de déterminer la profondeur optimale du passage entre une exploitation à ciel ouvert et une autre en souterrain; - de concevoir le patron de forage et de sautage et la séquence de détonations; - de calculer la longueur de forage, la quantité de la consommation d'explosifs, le tonnage de minerai et de stérile; - de sélectionner les équipements de forage, de chargement et de transport; - d'évaluer le choix entre des puits et des rampes; - de reconnaître, de mémoriser et de différencier les caractéristiques des principales méthodes d'abattage dans les exploitations en souterrain; - d'évaluer, de cerner et de choisir les méthodes de minage adéquates en considérant les conditions géologiques et géométriques du gisement, et les contraintes géomécaniques et environnementales; - de concevoir un système de développement, de dimensionner les chantiers et de planifier les séquences de minage; - d'identifier les rôles des remblais et d'évaluer les résistances requises des remblais cimentés exposés latéralement ou horizontalement; - de concevoir des chantiers remblayés. Objectifs spécifiques des travaux pratiques Après avoir fait les séances de travaux pratiques, la personne étudiante sera en mesure : - d'analyser les données d'un projet miner; - de concevoir le système de développement, de dimensionner les chantiers et de planifier les séquences de minage; - d'évaluer les volumes et tonnages des stériles et des roches minéralisées ainsi que les coûts de production; - d'estimer les coûts d'investissement pour les infrastructures en surface et en souterrain; - d'effectuer l'analyse économique du projet et calculer les VAN, TRI et période de remboursement pour une exploitation en fosse et/ou en souterrain; - de déterminer la profondeur optimale pour une exploitation en fosse ou en souterrain; - de déterminer la profondeur optimale du passage entre une exploitation en fosse et une autre en souterrain; - d'analyser les sensibilités de certains paramètres sur la rentabilité du projet et sur les profondeurs optimales entre les exploitations à ciel ouvert et en souterrain; - de produire un rapport technique professionnel.

Contenu : Détermination des profondeurs optimales entre les exploitations à ciel ouvert et en souterrain. Étude des caractéristiques des principales méthodes d'abattage utilisées en souterrain. Cas d'études pour chaque méthode de minage. Sélection des méthodes de minage pour évaluations économiques d'un projet minier. Dimensionnement des ouvrages et sélection des équipements. Calculs des quantités de roche, des équipements et des coûts reliés à l'exploitation en souterrain. Fonçage de puits et de rampes. Étude des méthodes de remblayage des excavations.

MIN8373

Environnement et gestion des rejets miniers

Objectifs :

Contenu : Effets de l'exploitation d'une mine sur le milieu : généralités, écologie, législation, effluents et rejets, impacts environnementaux. Drainage minier acide : prédiction, traitement, prévention, contrôle. Agents de traitement minéralurgique. Rejets miniers solides. Restauration et fermeture de sites. Auscultation et suivi. Aspects économiques. Pratiques environnementales.

MTH6403

Programmation mathématique I

Objectifs :

Contenu : Programmation linéaire : modélisation, méthode du simplexe, complexité, dualité, analyse de sensibilité, interprétation économique. Aspects pratiques de la programmation linéaire : langages de modélisation algébrique, stratégies de sélection de la variable entrante, logiciel CPLEX. Programmation non linéaire sans contrainte : conditions d'optimalité, convexité, méthodes du gradient, de Newton et quasi-newtoniennes. Programmation non linéaire avec contraintes : condition d'optimalité de Kuhn-Tucker, dualité lagrangienne, méthodes des directions réalisables, du gradient réduit, du gradient projeté, du lagrangien, du lagrangien augmenté, de barrière et de pénalité. Applications en génie chimique, génie mécanique et génie industriel.