

**DESS en génie minier (profil professionnel) - 2023**

**RESPONSABLE :**

Éric Rosa  
819 732-8809 poste 8229

**SCOLARITÉ :**

30 crédits, Deuxième cycle

**OBJECTIFS :**

Le DESS en génie minier vise à spécialiser les professionnels dans une thématique reliée à l'industrie minière et particulièrement en environnement minier et gestion des rejets miniers.

**CONDITIONS D'ADMISSION :**

**Base études universitaires**

Être titulaire d'un baccalauréat en ingénierie ou l'équivalent, et avoir obtenu une moyenne cumulative d'au moins 2,7 sur 4,3 (soit 2,5 sur 4,0) ou l'équivalent. Tout dossier de candidature avec une moyenne inférieure à 2,7, mais supérieure ou égale à 2,5 sur 4,3, sera étudié et pourrait, dans certains cas, faire l'objet d'une recommandation d'admission.

Une entrevue avec le candidat pourra être exigée aux fins de complément d'information.

**Base expérience**

Un candidat possédant les connaissances requises, une formation appropriée et une expérience professionnelle jugée pertinente (minimum 5 années) pourrait être également admis au programme à la suite d'une évaluation par le responsable du programme. Le candidat dont la préparation ne sera pas jugée satisfaisante pourra se voir imposer des cours d'appoint ou une propédeutique. Il devra également avoir préalablement complété le Microprogramme en environnement minier (0468) et avoir obtenu une moyenne cumulative d'au moins 2,7 sur 4,3.

Une entrevue avec le candidat pourra être exigée aux fins de complément d'information.

**PLAN DE FORMATION :**

GNM1013 Sujets spéciaux en génie minier (3 cr.)  
27 crédits optionnels

**Cours optionnels**

Pour compléter son programme l'étudiant choisit 27 crédits parmi les suivants:

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.)
GNM1010	Géotechnique minière (3 cr.)
GNM1012	Mécanique des roches (3 cr.)
GNM1015	Hydrogéologie I (3 cr.)
GNM1016	Traitement d'images (3 cr.)
GNM1017	Hydrogéochimie environnementale dans un contexte minier (3 cr.)
GNM1018	Traitement des effluents miniers (3 cr.)
GNM1019	Géophysique appliquée (3 cr.) *
GNM1020	Restauration des sites miniers : de la théorie à la pratique (3 cr.) (GNM1008)
GNM1021	Introduction au traitement de données et à la modélisation 3D (3 cr.)
GNM1022	Cartographie géologique de 2D à 3D (3 cr.)
GNM1023	Métallurgie extractive : du minerai au matériau (3 cr.)
GNM1024	Gîtes minéraux (3 cr.)
GNM2011	Végétalisation des sites miniers : de la théorie à la pratique (3 cr.) ou un maximum de 6 crédits choisis dans l'ensemble des cours de 2e cycle offerts à l'UQAT avec l'accord du responsable de programme

\* : Disponible à distance

**GNM1001****Minéralogie appliquée à l'étude des minerais et leur traitement**

**Objectifs :** Acquérir les notions de base de la minéralogie appliquée au domaine minier 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 cristallographie 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 :** La flottation des minerais appliquée à la gestion des résidus miniers. La désulfuration des résidus miniers en tant qu'application de la flottation des minerais: aspects théorique, technique et économique. L'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.

**GNM1010****Géotechnique minière**

**Objectifs :** Acquérir les notions de base en géotechnique et en hydrogéologie qui rendront l'étudiant capable d'effectuer le design des ouvrages miniers et de déterminer leur stabilité.

**Contenu :** Retour sur les notions théoriques en géotechnique et en hydrogéologie. Les différents tests et méthodes utilisés dans la détermination des propriétés des matériaux naturels et miniers. La législation pertinente liée aux ouvrages miniers. Le design et la construction des différents ouvrages miniers (digues de retenue, couvertures, etc.). L'analyse de la stabilité des ouvrages et l'utilisation de certains outils numériques.

**GNM1012****Mécanique des roches**

**Objectifs :** Interpréter les résultats d'études géologiques et géotechniques dans le but d'analyser le comportement mécanique des massifs rocheux. Identifier les paramètres nécessaires au calcul d'un ouvrage en rocher (excavations, cavités) et choisir les essais en laboratoire et in situ propres à mesurer ces paramètres. Choisir et justifier la méthode de calcul pour définir les dispositions générales et le dimensionnement d'un ouvrage, en évaluant la sécurité et les marges d'incertitude.

**Contenu :** Description et classification géomécaniques des roches et des massifs rocheux. Propriétés mécaniques des massifs rocheux : caractéristiques de la roche, critères de rupture et lois constitutives, résistance au cisaillement des discontinuités. Stabilité des talus rocheux : modes et causes de rupture, rôle de l'eau, études de stabilité en 2D et 3D par l'équilibre limite. Stabilité des excavations : états de contraintes, calcul des soutènements par la méthode convergence-confinement, calcul des facteurs de sécurité au glissement, calcul des ancrages.

**GNM1013****Sujets spéciaux en génie minier**

**Objectifs :** Permettre à l'étudiant

d'approfondir un sujet associé à ses études supérieures.

**Contenu :** Projet d'études supérieures accompli sous la direction d'un professeur du département et comprenant une étude d'application de haut niveau ainsi que la rédaction d'un rapport de projet. Le travail comprend au moins neuf heures par semaine consacrées au projet pendant quinze semaines pour un total de 135 heures. À la fin du projet, l'étudiant doit présenter ses résultats sous la forme d'un exposé oral.

**GNM1015****Hydrogéologie I**

**Objectifs :** Acquérir les connaissances de base nécessaires pour être capable d'appliquer les lois qui régissent le comportement de l'eau dans les sols et les roches dans différentes conditions rencontrées sur le terrain naturel et au niveau des ouvrages de génies. À la fin du cours, les étudiants auront les outils nécessaires pour suivre des cours plus approfondis en hydrogéologie environnementale et en hydrogéologie appliquée à la gestion des eaux souterraines.

**Contenu :** Types de roches; Propriétés physiques et hydrodynamiques des matériaux aquifères (milieux poreux et fissurés, homogènes et hétérogènes, isotropes et anisotropes) en conditions saturées et non saturées (zone vadose); Écoulements souterrains en conditions saturées : charge hydraulique, réseaux d'écoulement; Écoulements dans la zone vadose : méthodes de mesure et d'estimation de l'évaporation, l'évapotranspiration, l'infiltration; Structure et typologie des aquifères, hydraulique des puits; Notions d'hydrologie : cycle et bilan hydrologiques; Techniques de modélisation de l'écoulement.

**GNM1016****Traitement d'images**

**Objectifs :** Être en mesure de connaître les méthodes utilisées aujourd'hui dans le traitement d'images à différentes échelles et être capable de visualiser et d'analyser les données intermédiaires de diverses natures : cartes de régions, listes de points connexes, tableaux de valeurs mesurées, etc., afin de retirer l'information maximale de l'objectif étudié. En informatique, le traitement d'images désigne l'ensemble des traitements automatisés qui permettent de produire d'autres images numériques ou d'en extraire de l'information.

**Contenu :** La résolution d'acquisition et le mode de codage utilisé lors de la numérisation, qui déterminent le degré de précision des éventuelles mesures de dimensions. L'explication du principe des algorithmes classiques de traitement d'images par le sens physique et son aspect pratique. Les applications du traitement d'images dans diverses disciplines et leur méthodologie.

**GNM1017****Hydrogéochimie environnementale dans un contexte minier**

**Objectifs :** Permettre l'apprentissage, la

compréhension et l'application des principes de base de l'hydrogéochimie environnementale dans un contexte minier. Maîtriser les interactions entre les contaminants spécifiques à l'industrie minière, dont les métaux et l'environnement. Mettre en pratique les notions acquises par l'étude de plusieurs exemples de cas de sites miniers contaminés, avec un accent particulier sur les processus de transformation, de transport et de devenir des contaminants. Comprendre les processus impliqués dans la génération des eaux minières contaminées.

Acquérir les connaissances nécessaires pour la construction et l'interprétation des diagrammes Eh-pH. Apprendre l'importance de la spéciation et de la biodisponibilité des métaux dans les eaux minières contaminées. Appliquer les principes géochimiques à l'évolution de l'eau souterraine et à la modélisation hydrogéochimique.

**Contenu :** Équilibres aqueux, sorption et complexation. Réactions redox, construction des diagrammes Eh-pH et pC-pH. Réactions de dissolution-précipitation, cycle du carbone, système carbonate. Formation du drainage minier acide (DMA) et du drainage neutre contaminé (DNC), catalyse bactérienne et ferrique, réactions galvaniques, géochimie des sulfures et des minéraux neutralisants. Prédiction du DMA : essais statiques et cinétiques. Sources et spéciation des métaux. Écoulement de l'eau souterraine en milieux poreux, propriétés et classification des aquifères. Hydrogéochimie et qualité des eaux souterraines. Évolution géochimique. Géochimie isotopique des eaux naturelles et traceurs environnementaux. Modélisation hydrogéochimique.

**GNM1018****Traitement des effluents miniers**

**Objectifs :** Permettre l'apprentissage et la compréhension des processus impliqués dans la génération et le traitement des effluents miniers, en utilisant des technologies classiques et émergentes. Maîtriser l'application des principes de base en traitement des eaux dans le cas des effluents miniers contaminés par les métaux/métalloïdes, l'azote ammoniacal, les cyanures, le sulfate, les thiosels, les phosphates, la salinité, la radioactivité, les terres rares et les matières en suspension. Étudier les interactions entre ces contaminants et l'environnement. Mettre en pratique les notions fondamentales acquises par l'étude de plusieurs exemples de cas de sites miniers contaminés, avec un accent particulier sur les processus impliqués, les mécanismes d'enlèvement des contaminants, ainsi que sur l'évolution de l'efficacité et de la stabilité des systèmes de traitement à court et à long terme. Acquérir les connaissances nécessaires pour la sélection, le design, la construction, l'opération et le suivi des systèmes de traitement. Apprendre le rôle, l'importance, les avantages et les limitations des essais de laboratoire versus les essais de terrain. Appliquer les notions acquises à l'interprétation de l'évolution de la qualité des eaux en aval

des systèmes de traitement des effluents miniers.

**Contenu :** Gestion de l'eau minière et réglementations provinciale et fédérale. Objectifs environnementaux de rejets. Classification, principes de base et processus se déroulant dans les systèmes de traitement passif et actif, chimique et biologique, aérobie et anaérobie/anoxique des effluents miniers. Sources, objectifs de traitement et mécanismes d'enlèvement pour les contaminants spécifiques à l'industrie minière, tels que les métaux/métalloïdes, l'azote ammoniacal, les cyanures, le sulfate, les thiosels, les phosphates, la salinité, la radioactivité, les terres rares et les matières en suspension. Études de cas réels. Critères de sélection et de design, étapes à suivre et essais à réaliser avant la construction d'un système de traitement des effluents miniers à l'échelle de terrain.

### GNM1019

#### Géophysique appliquée

**Objectifs :** Permettre l'apprentissage et la compréhension des principes associés aux diverses méthodes géophysiques et leurs applications dans différents domaines : exploration des ressources naturelles; détection des cavités, des contaminations dans le sol ou dans l'eau; surveillance de sismicité etc. Maîtriser des méthodes conventionnelles de traitement et d'interprétation de données géophysiques. Apprendre à sélectionner l'information utile provenant d'une ou plusieurs méthodes géophysiques appropriées, à l'utiliser et à l'intégrer dans leur application. Mettre en pratique les notions fondamentales acquises par l'étude d'exemples d'applications de méthodes géophysiques en exploration des ressources naturelles et en environnement.

**Contenu :** Introduction du principe des méthodes géophysiques : gravimétrie, magnétique, résistivité, électromagnétique, sismique, géoradar, et radiométrie. Les propriétés physiques des roches, des eaux, des minerais non métalliques, semi-métalliques et métalliques. Traitement et interprétation de résultats d'observations géophysiques. Démonstration et application de méthodes géophysiques à des différents domaines : exploration des minerais, eau souterraine et sources énergétiques (lithium, pétrole, charbon etc.), au génie civil, et en environnement.

### GNM1020

#### Restauration des sites miniers : de la théorie à la pratique

**Objectifs :** Permettre l'apprentissage et la compréhension des processus impliqués dans les méthodes de restauration des sites miniers. Maîtriser les principes de base de la génération et de la prédiction du drainage minier contaminé. Étudier les principes fondamentaux à la base des différentes techniques de restauration : écoulement de l'eau et mouvement des gaz dans les milieux poreux et rocheux, mouvements thermiques dans les matériaux

géologiques. ...) Maîtriser et appliquer les méthodes de caractérisation et connaître les principales propriétés des rejets miniers. Connaître les principes, les facteurs d'influence, les approches de design et monitoring des principales méthodes de restauration applicables aux parcs à résidus et aux haldes à stériles. Appliquer les notions acquises à l'interprétation de résultats provenant de cas réels.

**Contenu :** Thèmes abordés : généralités sur la problématique environnementale reliée à la restauration des sites miniers; génération du drainage minier acide (DMA) et du drainage neutre contaminé (DNC); prédiction du DMA à l'aide d'essais statiques et cinétiques; écoulement de l'eau en milieu non saturé; mouvement des gaz et de la chaleur en milieu poreux; modélisation des mouvements des fluides et de la chaleur dans les milieux poreux; propriétés hydrogéotechniques des rejets miniers; recouvrement en eau; technique de la nappe surélevée; couvertures avec effets de barrière capillaire; barrières à l'infiltration d'eau; recouvrements isolants. Études de cas réels pour chaque méthode étudiée. Comparaison entre des valeurs mesurées sur site et des résultats provenant d'analyses numériques. Visite de plusieurs sites existants : Mine Doyon, Aldermac, Lorraine, Don Rouyn, Meadowbank. NOTE : Nombre de places limité. Pour vous inscrire, veuillez communiquer avec le responsable du programme.

### GNM1021

#### Introduction au traitement de données et à la modélisation 3D

**Objectifs :** Acquérir les connaissances de base relatives aux méthodes utilisées dans le traitement de données et dans la modélisation 3D. Apprendre les différentes étapes à suivre quant à la sélection de la méthode la plus appropriée pour extraire le maximum d'informations d'un projet à l'étude, en se basant sur les outils disponibles en traitement de données et modélisation 3D.

**Contenu :** Traitements de données géoscientifiques, traitements d'images, modélisation 3D, caractéristiques de différents filtres, méthodes de segmentation et de décomposition, méthodes de discrétisation du modèle, analyse de stabilité des méthodes numériques, stratégie de vérification du résultat de modélisation.

### GNM1022

#### Cartographie géologique de 2D à 3D

**Objectifs :** Connaître les méthodes utilisées aujourd'hui dans le traitement de données et d'images en science de la terre, pour être capable d'extraire l'information ayant une signification géologique en deux et en trois dimensions.

**Contenu :** Explication du principe des algorithmes de traitement d'images en faisant le lien avec le sens physique et son aspect pratique. Applications et illustrations du traitement de diverses images dans le domaine de science de

la terre et leur méthodologie (interpolation, transformation, filtre etc.). De l'observation à l'image, de l'image aux attributs, application des méthodes de la caractérisation pour la géologie de surface. Intégration d'informations multidisciplinaires (géologie-géochimie-géophysique), avec l'aide de modélisations 3D, l'extension de 2D image vers 3D espace.

### GNM1023

#### Métallurgie extractive : du minerai au matériau

**Objectifs :** Comprendre et appliquer de façon stratégique les principes théoriques du traitement du minerai et de la métallurgie extractive (p. ex. hydrométallurgie, électrométallurgie, pyrométallurgie) en lien avec l'exploitation responsable des métaux précieux (p. ex. Au), de base (p. ex. Cu, Zn, Pb) et stratégiques (p. ex. Ni, Co, éléments des terres rares). Connaître et appliquer les approches méthodologiques associées au domaine de la recherche métallurgie extractive. Décrire et expliquer les principes théoriques du traitement du minerai et de la métallurgie extractive (c.-à-d. hydrométallurgie, électrométallurgie, pyrométallurgie); analyser et comparer les procédés de traitement du minerai et de la métallurgie extractive en lien avec l'exploitation responsable des ressources minérales; déterminer les étapes à suivre lors de la conception d'un procédé ou d'une filière; planifier les essais à réaliser en vue de déterminer les paramètres de conception d'un procédé et d'en analyser les résultats; mettre en pratique les notions fondamentales afin d'analyser plusieurs cas réels au Canada et à travers le monde.

**Contenu :** Préparation et caractérisation physico-chimique et minéralogique des échantillons solides (e.g. minerai, concentré, rejet). Processus et propriétés régissant la séparation des minéraux d'intérêt de la gangue par les procédés de séparation minéralurgique (p. ex. séparation gravimétrique, séparation magnétique, flottation). Procédés d'extraction des éléments d'intérêt (e.g. hydrométallurgie, biohydrométallurgie, pyrométallurgie, électrométallurgie). Mécanismes de purification et de récupération (e.g. séparation membranaire, extraction par solvant, électrodéposition, précipitation sélective, échange ionique). Modélisation de procédés. Bilans de matière. Analyses statistiques et plans d'expériences. Critères de sélection et de conception, étapes à suivre et essais à réaliser pour permettre la conception d'une usine de traitement.

### GNM1024

#### Gîtes minérales

**Objectifs :** Se familiariser avec les différentes caractéristiques des gisements les plus communs au Canada et au Québec (en mettant l'accent sur les gisements de l'Abitibi-Témiscamingue et du Nord-du-Québec). Déterminer les impacts de ces caractéristiques sur les méthodes d'exploration, d'exploitation,

de traitement du minerai et de gestion des résidus miniers.

**Contenu :** Rappel des notions de la minéralogie et de la pétrographie (minéraux et roches les plus communs). Présentation du domaine de la géologie, de la distribution spatiale des divers gîtes minéraux au Québec et au Canada, et de leurs importances relatives. Étude des plus importants gîtes minéraux au Québec (Or orogénique, Sulfures exhalatifs volcanogènes, Magmatique Ni-Cu-Éléments du Groupe du Platine et de Fe-Ti-P, et Ressources minérales stratégiques (pegmatites (Li, Ta), carbonatites (Nb, ÉTR), graphite)) en tenant compte des éléments suivants : l'importance économique, la taille et la teneur, les caractéristiques géologiques, le modèle de formation, les impacts sur les méthodes d'exploration, d'extraction, de traitement du minerai et sur la gestion des rejets miniers.

### GNM2011

#### Végétalisation des sites miniers : de la théorie à la pratique

**Objectifs :** Acquérir des connaissances théoriques et pratiques sur les interactions plantes-substrats miniers. Connaître le contexte réglementaire, le cadre conceptuel écologique et les enjeux de développement durable associés à la végétalisation des sites miniers. Développer des aptitudes à concevoir un plan de végétalisation minière dans la zone boréale. Acquérir de l'expérience à travers l'étude de cas réels et des mises en situation. Se familiariser avec les enjeux de recherche en végétalisation des sites miniers.

**Contenu :** Guide de restauration, guide sur la réhabilitation des terrains contaminés. Cadre conceptuel de la végétalisation minière (succession végétale, filtres écologiques, réhabilitation vs restauration écologique, évolution à long terme et stabilité). Types de rejets miniers solides (générateurs ou pas d'acide, roches stériles, résidus de concentrateurs, boues de traitement des eaux). Établissement des plantes sur un nouveau substrat (acquisition des ressources, relations des plantes avec d'autres organismes). Limitations à l'établissement des plantes sur rejets miniers. Techniques de végétalisation (naturelle vs assistée, matériel végétal) et d'amélioration du substrat (fertilisation, amendement, couverture de sol, stockage du sol), valorisation de matières résiduelles fertilisantes. Plan de végétalisation, validation expérimentale, indicateurs de succès. Services écologiques (valorisation de matières résiduelles fertilisantes, fixation de carbone, production de biomasse, phytoremédiation). Plantes et recouvrements visant à contrôler la migration des fluides (biointrusion, bilan hydrique, consommation d'oxygène). Modélisation hydrogéologique intégrant l'effet de la végétation et études paramétriques.