

**Certificat en environnement minier - 4519**

**RESPONSABLE :**

Mamert Mbonimpa  
819 762-0971 poste 2618

mécanique, statique et résistance des matériaux, chimie générale et des solutions.  
Des notions de géologie seraient un atout.

**SCOLARITÉ :**

30 crédits, Premier cycle

**OBJECTIFS :**

Le certificat en environnement minier s'adresse principalement aux travailleurs du domaine minier et vise le développement des compétences en matière de gestion de l'environnement dans le domaine minier, ainsi qu'à initier le développement des habiletés à la recherche, à l'innovation et à la résolution de problèmes en environnement minier.

**CONDITIONS D'ADMISSION :**

**Base collégiale**

Être titulaire d'un diplôme d'études collégiales (DEC) ou l'équivalent et avoir un intérêt pour le domaine de l'environnement minier.

**Base études universitaires**

Être âgé d'au moins 21 ans et avoir réussi un minimum de neuf crédits universitaires.

**PLAN DE FORMATION :**

**Cours obligatoires**

EVM1005	Projet en environnement minier (4 cr.) *
	26 crédits optionnels

**Cours optionnels**

L'étudiante ou l'étudiant choisit 26 crédits parmi les suivants :

EVM1001	Développement durable et évaluation environnementale (2 cr.) *
EVM1002	Géotechnique appliquée à l'environnement minier (3 cr.) *
EVM1003	Hydrogéologie appliquée à l'environnement minier (3 cr.) *
EVM1004	Restauration des sites miniers (3 cr.) *
EVM1006	Auscultation des ouvrages en environnement minier (2 cr.) *
EVM1007	Traitement des eaux minières contaminées (2 cr.) *
EVM1008	Caractérisation environnementale de rejets miniers et de minerais (2 cr.) *
EVM1009	Traitement des minerais : défis et opportunités en environnement minier (2 cr.) *
EVM1010	Méthodes de gestion des résidus miniers fins (2 cr.) *
EVM1011	Végétalisation des sites miniers (2 cr.) *
EVM1012	Polluants atmosphériques miniers (2 cr.) *
EVM1013	Règlementation environnementale minière (1 cr.) *
EVM1014	Métallurgie extractive (2 cr.) (EVM1009)
EVM1015	Géophysique appliquée à l'environnement minier (3 cr.)
EVM1016	Introduction à la géomécanique minière (3 cr.) (EVM1002) *
EVM1017	Introduction au remblayage minier (3 cr.) (EVM1002) *

\*: Disponible à distance

**Règlements pédagogiques :**

Pour s'inscrire au cours EVM1005 Projet en environnement minier (4 cr.) l'étudiant doit avoir réussi au moins 6 crédits dans le programme.

**NOTES :**

**Cheminement**

Ce programme ne peut pas être réalisé en moins de 6 sessions. Sa durée maximale est de 10 sessions (excluant l'été). Il est offert entièrement à distance, en format médiatisé.

Les cours offerts à distance seront : EVM1004, EVM1008, EVM1013 et EVM1014 pour l'automne 2026 et EVM1001, EVM1007, EVM1010 et EVM 1015 pour l'hiver 2027.

Des connaissances de base de niveau collégial en sciences (DEC Sciences de la nature ou technique reliée aux sciences ou équivalent) sont recommandées pour s'inscrire aux cours suivants : EVM1002, EVM1003, EVM1004, EVM1007, EVM1008, EVM1009, EVM1010, EVM1012. Disciplines à considérer selon les cours : calcul différentiel et intégral, algèbre linéaire et vectorielle, physique

**EVM1001****Développement durable et évaluation environnementale**

**Objectifs :** Connaître les concepts de développement durable et les processus d'évaluation environnementale, en particulier les études d'impacts sur l'environnement, dans le contexte de l'industrie minière.

**Contenu :** Développement durable : définitions, principes, indicateurs, outils. Application du développement durable à l'industrie minière. Processus d'évaluation environnementale : étude d'impacts sur l'environnement, analyse du cycle de vie, évaluation environnementale stratégique. Réglementation en vigueur. Applications et exemples de cas provenant de l'industrie minière.

**EVM1002****Géotechnique appliquée à l'environnement minier**

**Objectifs :** Intégrer les différents aspects liés aux propriétés physiques, mécaniques et hydrogéologiques nécessaires pour l'étude de la stabilité physique des ouvrages miniers et à la gestion environnementale des rejets.

**Contenu :** Propriétés mécaniques et hydrogéotechniques des matériaux meubles (sols, rejets miniers) et leur méthode de détermination au laboratoire. Principes de base des écoulements en conditions saturées et non saturées et techniques de mesures des paramètres (au laboratoire et sur le terrain). Principes d'analyse et de conception d'empiements et de digues pour rejets miniers (consolidation et tassement, résistance au cisaillement, pression des terres, stabilité des pentes). Aspects géotechniques du guide de gestion des parcs à résidus élaboré par l'Association Minière du Canada.

**EVM1003****Hydrogéologie appliquée à l'environnement minier**

**Objectifs :** S'initier aux notions d'hydrogéologie et d'hydrologie et à leurs applications au domaine de l'environnement minier, en considérant les lois et règlements en vigueur.

**Contenu :** Cycle et bilan de l'eau. Identification géologique de l'aquifère. Propriétés hydrogéologiques des milieux poreux et facteurs d'écoulement des eaux souterraines : porosité, perméabilité, transmissivité, coefficient d'emmagasinement, gradient hydraulique, niveau piézométrique, sens d'écoulement de l'eau, relation entre les eaux souterraines et les eaux de surface. Mesure des niveaux piézométriques, techniques d'échantillonnage des eaux. Évaluation de l'atténuation du contaminant qui se déplace dans un milieu poreux. Règlement sur le captage des eaux souterraines.

**EVM1004****Restauration des sites miniers**

**Objectifs :** Acquérir les connaissances

et outils qui permettent de comprendre les mécanismes de formation du drainage minier acide (DMA) qui est le principal problème environnemental de l'industrie minière, ainsi que les solutions pratiques les plus appropriées pour y remédier en mode prévention et en mode contrôle.

**Contenu :** La problématique générale du DMA et les principales méthodes de prédiction du DMA; les notions de base sur les méthodes de prévention du DMA basées sur la gestion des rejets (désulfuration, déposition subaquatique, méthodes alternatives de gestion de rejets) et sur les méthodes de contrôle du DMA ou méthodes de restauration : inondation des rejets, recouvrements multicouches, nappe phréatique surélevée.

**EVM1005****Projet en environnement minier**

**Objectifs :** Développer l'esprit d'analyse, de synthèse et d'innovation, en apprenant à résoudre une problématique environnementale liée à l'exploitation minière ou au traitement du minerai en utilisant les concepts théoriques et pratiques vus dans les cours.

**Contenu :** Projet en environnement minier accompli sous la direction d'un directeur de projet de l'UQAT. Le travail comprend au moins sept heures par semaine consacrées au projet pendant deux trimestres (automne et hiver). Au terme du projet, des pistes quant à la formulation d'une solution concrète à un problème environnemental de l'entreprise qui emploie le ou les participants doivent être présentées. Les résultats sont consignés dans un rapport écrit qui fait l'objet d'une présentation orale. Le projet est évalué par le directeur et par un évaluateur non impliqué dans le projet.

**EVM1006****Auscultation des ouvrages en environnement minier**

**Objectifs :** Maîtriser le fonctionnement, l'utilisation et l'interprétation des données obtenues des divers dispositifs de monitoring des propriétés hydrogéotechniques des ouvrages utilisés dans le domaine de l'environnement minier.

**Contenu :** Fondements sur la construction des digues de confinement des rejets de concentrateur et problèmes de stabilité physiques. Fondements sur les méthodes de restauration des sites miniers : recouvrements en sol et en eau. Fondements de métrologie : notions sur les erreurs (fidélité, justesse, précision, sensibilité, résolution, répétabilité et reproductibilité de mesures). Auscultation des digues de confinement de rejets miniers : suivi du compactage, des pressions interstitielles (piézomètres), contraintes totales (capteurs de pression), tassements verticaux (tassomètres), déplacements de surface (extensomètres), déplacement horizontal et rotations (inclinomètres). Inspection visuelle des digues de confinement de rejets miniers. Auscultation des recouvrements en sol

utilisés pour la restauration des sites miniers : suivi de teneur en eau volumique, succion, température du sol, concentration d'oxygène interstitiel, infiltration, paramètres météorologiques, essai de traçage, débit des effluents, débits de percolation (lysimètres). Auscultation des recouvrements en eau : suivi hydrogéochimique et hydrodynamique. Auscultation géophysique des ouvrages.

**EVM1007****Traitement des eaux minières contaminées**

**Objectifs :** Apprendre les processus impliqués dans la génération et le traitement des effluents miniers. Maîtriser l'application des principes de base en traitement des eaux dans le cas des effluents miniers contaminés. Comprendre les interactions entre les contaminants spécifiques à l'industrie minière et l'environnement. Acquérir les connaissances nécessaires pour la sélection, le design, la construction, l'opération et le suivi des systèmes de traitement des eaux minières. Apprendre le rôle, l'importance, les avantages et les limitations des essais de laboratoire par rapport aux essais de terrain. Discuter des systèmes réels de traitement des eaux minières contaminées, sur les processus impliqués, les mécanismes d'enlèvement / concentration / destruction, la performance à long terme et la stabilité des boues générées.

**Contenu :** Activité minière et sources potentielle de contamination de l'eau. Retour sur la réglementation provinciale (Directive 019) et fédérale (Règlement sur les effluents des mines de métaux) sur la qualité physico-chimique et de toxicité aquatique des effluents miniers. Stratégies de traitement des eaux contaminées. Sources, caractéristiques, principes et objectifs de traitement, et mécanismes d'enlèvement des 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. Présentation et discussion des exemples de cas réels. Critères de sélection et conception, étapes à suivre et essais à réaliser au laboratoire et sur le terrain, avant la construction d'un système de traitement des eaux minières contaminées à pleine échelle.

**EVM1008****Caractérisation environnementale de rejets miniers et de minerais**

**Objectifs :** Acquérir des connaissances théoriques et pratiques relatives à l'identification des principaux minéraux, ainsi qu'aux principaux essais utilisés dans les caractérisations environnementales de rejets miniers et de minerais. Comprendre les stratégies d'échantillonnage et de caractérisation permettant de prédire le potentiel polluant de rejets miniers et de minerais.

**Contenu :** Introduction générale à la minéralogie et aux principes physiques d'observation en lumière transmise et réfléchie. Notions de base et fondements

de la radiocristallographie et en particulier de la diffraction-X. Principes de base de la cristallographie. Étude des minéraux communs : sulfures, oxydes et hydroxydes, carbonates, sulfates et silicates. Caractérisations chimiques de base. Prédiction du drainage minier contaminé (drainage minier acide, DMA, et drainage neutre contaminé, DNC) : essais statiques (essais de type Sobek et variantes, essais NAG et variantes, essais minéralogiques) et cinétiques (cellules humides, colonnes, mini-cellules d'altération, essais en barils de terrain, parcelles expérimentales) et interprétation de ces essais.

**EVM1009****Traitement des minerais : défis et opportunités en environnement minier**

**Objectifs :** Connaître les principaux procédés de traitement des minerais utilisés dans les opérations de métaux de base et d'or. Comprendre l'influence de ces procédés sur les problématiques associées aux rejets miniers.

**Contenu :** Mesures de séparation et bilans métallurgiques, comminution, classification, concentration gravimétrique, flottation, lixiviation, désulfuration, destruction des cyanures, épauillage et filtration. Concept de la géométagurgie.

**EVM1010****Méthodes de gestion des résidus miniers fins**

**Objectifs :** Acquérir une formation de base sur les méthodes de gestion des résidus miniers fins (ou rejets de concentrateur) dans un contexte de développement durable. Se familiariser avec les deux principaux modes de stockage des résidus miniers fins : la déposition en surface et le remblayage souterrain. Connaître les différentes techniques et technologies mises en jeu dans le processus de gestion des résidus miniers fins. Maîtriser les démarches conceptuelles et de mise en œuvre de ces deux modes de stockage des résidus miniers fins.

**Contenu :** Déposition en surface des résidus miniers fins : les différentes techniques de déposition en surface des pulpes de résidus, des résidus épais (avec ou sans inclusions de stériles), des résidus en pâte et des résidus filtrés; transport de ces résidus jusqu'au point de déposition; avantages et inconvénients des techniques; propriétés hydro-géotechniques et mécanique des résidus; vulnérabilité des ouvrages de retenue de ces résidus; comportement environnemental de ces dépôts de résidus; calcul des coûts relatifs à la mise en œuvre de ces techniques. Remblayage souterrain : typologie des remblais cimentés faits des résidus miniers fins; typologie des résidus miniers destinés à la fabrication des remblais cimentés souterrains; méthodes de fabrication des remblais miniers cimentés à l'usine; transport du remblai cimenté à travers les réseaux de pipelines; formulations des recettes de mélange de remblais et calcul des coûts du ciment; mise en place du remblai

dans les vides souterrains et leur comportement in situ; comportement environnemental des chantiers remblayés.

## EVM1011

### Végétalisation des sites miniers

**Objectifs :** Acquérir les connaissances de base théoriques et pratiques relatives aux interactions plantes-substrats miniers. Se familiariser avec le contexte réglementaire, écologique et de développement durable associé 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.

**Contenu :** Guide de restauration du MERN. Cadre conceptuel de la végétalisation minière (succession végétale, réhabilitation vs restauration écologique, ingénierie écologique, évolution à long terme et stabilité). Types de sites miniers (sablères, tourbières, mines de métaux, sites en exploitation vs sites abandonnés). Types de rejets miniers (générateurs ou pas d'acide, roches stériles, résidu de concentrateurs, boues de traitement des eaux). Limitations à l'établissement des plantes sur rejets miniers (facteurs abiotiques : ressources vs modulateurs). Besoins des plantes, écophysologie, propriétés et processus fonctionnels du système plantes-substrats. Végétalisation naturelle vs assistée. Amélioration du substrat (fertilisation, amendement, couverture de sol), valorisation de matières résiduelles fertilisantes, coûts de végétalisation. Choix du matériel végétal (ligneux vs herbacées, espèces pionnières, plantes abri, facilitation vs compétition, symbioses, tolérance aux stress, indigènes vs exotiques). Étapes d'un plan de végétalisation et suivi qualité. Arbres et services écologiques (fixation de carbone, production de biomasse). Phytoremédiation (phytostabilisation, phytoextraction des métaux). Plantes et stabilité géotechnique (stabilisation des pentes, érosion, désaturation en eau). Plantes et recouvrements à effet de barrière (bioinvasion, bilan hydrique, consommation d'oxygène).

## EVM1012

### Polluants atmosphériques miniers

**Objectifs :** Identifier les principales sources de polluants atmosphériques miniers et connaître les techniques d'échantillonnage et les méthodes de caractérisation des polluants atmosphériques. Aborder les techniques permettant d'atténuer ces pollutions atmosphériques.

**Contenu :** La nature et la source des polluants atmosphériques miniers et leurs impacts sur l'environnement et la santé des populations. Les techniques d'échantillonnage et d'analyse, la chimie de l'atmosphère, les modèles de dispersion atmosphérique, la législation, les techniques de captage des gaz et des vapeurs et le dimensionnement des équipements. Les poussières générées sur les sites miniers et les techniques qui

permettent d'atténuer ces pollutions seront également abordées.

## EVM1013

### Règlementation environnementale minière

**Objectifs :** Acquérir les connaissances nécessaires sur les lois et les règlements qui encadrent les activités minières au Québec.

**Contenu :** Les normes, lois, règlements et directives en lien avec l'industrie minière du Québec et du Canada. Les lois et règlements à suivre durant les opérations : objectifs environnementaux de rejets (OER), programme de réduction de rejets industriels (PRRI), attestation d'assainissement, règlement sur les effluents des mines de métaux (REMM) et Directive 019, étude de suivis des effets sur l'environnement (ESEE). Rôle du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec et du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles.

## EVM1014

### Métallurgie extractive

**Objectifs :** Comprendre et appliquer de façon stratégique les principes théoriques de la métallurgie extractive (p. ex. hydrométallurgie, électrometallurgie, pyrometallurgie) 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 les approches méthodologiques associées au domaine de la métallurgie extractive. Décrire et expliquer les principes théoriques de la métallurgie extractive (c.-à-d. hydrometallurgie, électrometallurgie, pyrometallurgie); analyser les procédés 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 :** Procédés d'extraction des éléments d'intérêt (e.g. hydrometallurgie, biohydrometallurgie, pyrometallurgie, électrometallurgie). Mécanismes de purification et de récupération (e.g. séparation membranaire, extraction par solvant, précipitation sélective, sorption, échange ionique). Modélisation de procédés. Bilans de matière. Critères de sélection et de conception, étapes à suivre et essais à réaliser pour permettre la conception d'une usine.

## EVM1015

### Géophysique appliquée à l'environnement minier

**Objectifs :** Connaître les principes associés aux méthodes géophysiques appropriées à la gestion de l'environnement minier. Apprendre à

sélectionner les informations utiles provenant d'une ou plusieurs méthodes géophysiques, à les utiliser et à les intégrer dans leur application. Mettre en pratique les notions acquises en cours par les démonstrations et pratiques sur le terrain. Approfondir la compréhension par les traitements et interprétations de données.

**Contenu :** Introduction sur les propriétés physiques des matériaux miniers et aperçu de la gestion de l'environnement minier. Fondements et applications de la méthode géoradar. Application de la méthode géoradar sur le terrain. Exercice de traitement et d'interprétation de données géoradar. Principe des techniques conventionnelles de mesures électriques et avancées technologiques, avec des exemples d'application. Caractérisation des matériaux en laboratoire (ex : résistivité électrique, permittivité diélectrique, lien avec la teneur en eau). Visite d'un site minier pour montrer un système de surveillance automatisée. Application de la méthode de résistivité électrique sur le terrain. Traitement et interprétation des données de résistivité.

## EVM1016

### Introduction à la géomécanique minière

**Objectifs :** Acquérir une connaissance approfondie des fondements de la mécanique des roches. Maîtriser les aspects liés au comportement mécanique des roches et des massifs rocheux. Apprendre les méthodes de description des massifs rocheux. Maîtriser les méthodes de classification des massifs rocheux. Comprendre l'impact de la présence des discontinuités sur le comportement mécanique des massifs rocheux. Comprendre comment les contraintes sont générées dans les massifs rocheux et apprendre comment les mesurer. Maîtriser les méthodes de soutènement de la roche excavée. Comprendre l'analyse de stabilité des ouvrages au rocher et des pentes rocheuses.

**Contenu :** Introduction à la mécanique des roches : définition de la mécanique des roches, types de roche et leur formation, discontinuités rocheuses; Comportement mécanique des roches : essais de base, généralités sur les conditions expérimentales, comportement mécanique sous sollicitation isotrope, comportement en compression uniaxiale, compression triaxiale de révolution, classification des comportements, critères de rupture pour roches intactes, effets d'échelle; Description structurale du massif rocheux : caractéristiques d'une surface de discontinuité, familles et réseaux de discontinuités, représentations graphiques, principaux types de structures des massifs rocheux, notions de base sur la modélisation des massifs rocheux; Systèmes de classification des massifs rocheux : classification par facteur de charge de Terzaghi, désignation de la qualité de la roche (RQD), évaluation de la structure rocheuse (RSR), évaluation du massif rocheux (RMR et MRMR), indice de qualité d'un tunnel dans le massif

rocheux (Q system), scalaire du massif rocheux, indice du massif rocheux (RMI), critères de rupture pour massifs rocheux (Hoek-Brown); Comportement mécanique des discontinuités : description expérimentale du comportement mécanique, résistance au cisaillement des joints rocheux, déformabilité des joints rocheux, critères de rupture pour joints rocheux; Contraintes dans les massifs rocheux et leur mesure : champs de contraintes naturelles, méthodes de mesure des contraintes, variations temporelles des contraintes; Méthodes de soutènement des excavations rocheuses : discontinuités et schémas de rupture, types de soutènement, stabilité des blocs et des dièdres, boulonnage, choix du type de soutènement, dimensionnement du soutènement; Aperçu sur les types de rupture de pentes rocheuses : facteurs d'influence des ruptures de pentes, types de rupture de pentes rocheuses, chutes de blocs, analyse de stabilité de pentes rocheuses, système de classification des glissements de terrain.

## EVM1017

### Introduction au remblayage minier

**Objectifs :** Explorer tous les types de remblai utilisés dans l'industrie minière, en analysant les avantages et les inconvénients de chaque type. Acquérir des connaissances de base sur le design et la mise en œuvre des systèmes de remblayage minier souterrain. Comprendre l'hydratation des ciments et liants, la chimie des remblais miniers, ainsi que leur rhéologie et transport. Acquérir des notions fondamentales sur les critères de rupture des remblais miniers. Connaître les différentes méthodes de formulation des recettes de mélanges de remblai minier cimenté. Apprendre les méthodes de contrôle de la qualité associées à ces mélanges.

**Contenu :** Caractéristiques descriptives des remblais miniers : composition des remblais miniers, propriétés physiques, relations des phases dans les remblais miniers, propriétés physiques des remblais miniers, microstructure des remblais miniers, propriétés hydriques; Notion d'hydratation des agents liant dans les remblais miniers : fabrication du ciment portland, types de ciment portland, ciments composés, hydratation des liants hydrauliques, effet de l'ajout d'adjuvants; Rhéologie et transport des remblais miniers : notions de base sur la rhéologie, transport et distribution par pipelines, régimes d'écoulement, notions de base sur l'écoulement en charge (conduites), pertes de charges et design des systèmes de distribution; Calculs des mélanges des remblais miniers cimentés : calculs des mélanges au labo pour les remblais cimentés (hydrauliques, en pâte et rocheux); Éléments de mécanique des remblais miniers cimentés : notions de contraintes effectives, chemins de contraintes, résistance au cisaillement, critère de Mohr-coulomb, principe d'analyse de stabilité, résistance à la traction indirecte, facteurs d'influence liés aux chantiers miniers remblayés; Conception des systèmes de remblayage minier :

---

## Description des cours

---

design des systèmes de remblayage minier, résistance requise et analyse de stabilité, estimation des coûts; Notions de chimie des remblais miniers : réactions d'oxydation des sulfures, chimie des remblais faits de résidus sulfureux, conception de remblais faits de résidus sulfureux; Formulation de recettes de mélanges de remblais miniers : facteurs d'influence, méthodes de formulation des recettes de mélange, plans d'expériences, intelligence artificielle.