

Programme de recherche en partenariat 2022-2025 sur le développement durable du secteur minier

Résumés des projets dont le financement a été accordé en 2025

Compilation : Louis Bienvenu, ing.
Direction générale du développement de l'industrie minière
Ministère des Ressources naturelles et des Forêts
Novembre 2025

Axes de recherche

Axe 1 : Exploration et exploitation minière en profondeur

Axe 2 : Développement du secteur minier en milieu nordique

Axe 3 : Économie d'énergie et gaz à effet de serre

Axe 4 : Impact du développement minier sur l'environnement et sur les communautés

Axe 5 : Développement et optimisation des outils géoscientifiques et géomatiques

Axe 6 : Vision prospective du développement minier

Axe 7 : Recherche sur les minéraux critiques et stratégiques

Dates prévues de la publication des rapports finaux par le FRQ

Appels de propositions	Annonce des financements aux chercheurs	Dates prévues de publication des rapports finaux
2022 : 28 novembre 2022	Septembre 2023	2027
2023 : 11 octobre 2023	Juin 2024	2028
2024 : 3 octobre 2024	Juin 2025	2029

RÉSUMÉS DES PROJETS DONT LE FINANCEMENT A ÉTÉ ACCORDÉ EN
2025
Par ordre alphabétique des noms des chercheurs

Appels de propositions d'octobre 2024 – Tableau des projets financés – Page 1

Appel	Responsable	Titre	Axe	Partenaire	Participation partenaires	Subvention FRQ incluant FIR
2024	Bouchard, Jocelyn Laval	Optimisation géométallurgique de la planification minière à court terme pour la production de concentrés de fer de haute pureté	7	Minerai de fer	64 500 \$	381 000 \$
2024	Claprood, Maxime UQAC	Optimisation de données magnétiques en géophysique obtenues par l'application cellulaire Crowd Mag	5	Agnico-Eagle	54 000 \$	133 350 \$
2024	Constantin, Marc Laval	La cartographie des pegmatites à lithium par imagerie hyperspectrale	7	Nemaska Lithium, Telops, Sayona	159 990 \$	361 950 \$
2024	Daassi, Rodrique Cégep La Pocatière	Développement d'un outil intelligent d'intégration de données biologiques, géospatiales et environnementales dans un contexte de restauration minière	4	Nouveau Monde Graphite	30 000 \$	342 900 \$
2024	Daassi, Rodrique Cégep La Pocatière	Valorisation des matières résiduelles pour la restauration écologique des parcs à résidus miniers de la Fonderie Horne	4	Fonderie Horne	38 000 \$	342 900 \$
2024	Dumais, Simon Laval	Analyse des processus thermiques lors de la déposition hydraulique des résidus miniers en climat nordique	2	Minerai de fer	30 000 \$	161 925 \$
2024	Genna, Dominique UQAC	Apport de la chimie minérale pour la classification métallogénique, Territoire Eeyou Istchee Baie-James	5	MRNF, Troilus	64 800 \$	381 000 \$
2024	Grenon, Martin Laval	Performances des chantiers miniers : caractérisation, conception, réalisation et rétro-analyse	6	Alius	45 000 \$	190 500 \$

Appels de propositions d'octobre 2024 – Tableau des projets financés – Page 2

Appel	Responsable	Titre	Axe	Partenaire	Participation partenaires	Subvention FRQ incluant FIR
2024	Khosravanipour Mostafazadeh, Ali Cégep Abitibi-Témiscamingue	Élimination efficace de l'ammoniac des eaux souterraines minières par la technologie zéolite	4	Technosub, Eldorado Gold	75 000 \$	380 886 \$
2024	Lamy Morrisette, Claude Cégep Thetford	Gestion écoresponsable des résidus miniers amiantés par l'optimisation des outils de caractérisation	4	Pôle économique Chaudière-Appalaches	67 000 \$	381 000 \$
2024	Lazar, Cassandre UQAM	Les mines abandonnées détiennent-elles la clé de la restauration?	4	MRNF, Derena	39 420 \$	381 000 \$
2024	Maître, Julien UQAC	Automatisation de l'analyse pétrographique des lames minces et des carottes de forage à l'aide de la segmentation et des LLMs (Modèles de langage de grande échelle)	5	IOS Géosciences	93 200 \$	381 000 \$
2024	Mulligan, Catherine Concordia	Application des agents tensio-actifs biologiques pour la récupération des minéraux critiques des résidus alcalins	7	Rio Tinto Fer et Titane	44 250 \$	381 000 \$
2024	Profili, Jacopo UQAR	Réhabilitation des sites miniers : potentiel des semences traitées au plasma pour identifier celles à haut potentiel de permettre une croissance rapide	4	Osisko, Viridis	39 150 \$	381 000 \$
2024	Rottier, Bertrand Laval	Caractérisation des enveloppes d'altération et de la distribution des coproduits critiques au sein du gisement de Gaspé Cuivre	7	Osisko	45 000 \$	381 000 \$
2024	Roy, Sébastien Sherbrooke	Étude fonctionnelle d'espèces indigènes de la Fosse du Labrador et leur déploiement en conditions réelles, pour une restauration minière durable	4	MRNF, WSP, Minerai de fer, Ramo technologies	620 688 \$	381 000 \$

Appels de propositions d'octobre 2024 – Tableau des projets financés – Page 3

Appel	Responsable	Titre	Axe	Partenaire	Participation partenaires	Subvention FRQ incluant FIR
2024	Sasmito, Agus McGill	Décarbonisation de la pelletisation de fer à l'aide de la biomasse et de l'irradiation par micro-ondes	3	ArcelorMittal	60 000 \$	381 000 \$
2024	Soucy La Roche, Renaud INRS	Évaluation du contexte géodynamique propice aux minéralisations en Ni-Cu-Co EGP dans les suites anorthositiques de la Province de Grenville	5	MRNF, Go Metals Corp	40 000 \$	381 000 \$
2024	Van Hinsberg, Vincent McGill	Développement d'un échantillonneur de fluide en profondeur pour l'exploration des ressources minérales et géothermiques	5	Derena, Windfall Mine	52 500 \$	380 986 \$
2024	Van Hinsberg, Vincent McGill	La tourmaline : un outil pour identifier les vecteurs d'enrichissement en lithium des pegmatites LCT de la Baie-James	5	MRNF, SOQUEM, Winsome, Loyal Lithium, Brunswick Mining, Innova Lithium	144 350 \$	380 981 \$
Total : 20 projets					1 806 848 \$	6 867 378 \$

Chercheur responsable : [Jocelyn Bouchard](#), Université Laval

Résumé : L'utilisation de concentrés de fer de haute pureté (FHP, > 67 % Fe) constitue une mesure phare que les producteurs canadiens proposent pour réduire à zéro les émissions nettes de CO₂ d'ici 2050 d'où leur entrée dans les listes québécoise et canadienne des minéraux critiques et stratégiques (MCS) en 2024. Le minerai de la fosse du Labrador en particulier présente des dispositions évidentes pour l'enrichissement au seuil du FHP, mais la compréhension géométallurgique pour une production soutenue demeure à ce jour insuffisante. Les deux lacunes importantes à combler concernent (1) la quantification de l'effet des caractéristiques minéralogiques sur la performance des procédés minéralurgiques et (2) l'absence d'outils d'aide à la prise de décisions systématiques pour la planification minière à court terme. Il en découle des écarts par rapport à la capacité nominale de production en termes de tonnage quotidien et de qualité du produit.

Objectifs :

La programmation de recherche propose de traiter cette problématique à partir du cas d'étude de l'exploitation de Minerai de Fer Québec (MFQ). Elle s'appuiera sur deux outils issus de l'industrie 4.0, soit le jumeau numérique et l'optimisation. Les objectifs spécifiques consistent à :

- (1) identifier et caractériser différentes unités géométallurgiques de la fosse du Labrador;
- (2) modéliser l'effet de la provenance du minerai de fer sur les résultats de l'usine;
- (3) concevoir des outils d'optimisation de la planification minière garantissant l'atteinte du grade FHP.

Résultats attendus :

La programmation de recherche se réalisera avec un étudiant à la maîtrise (M) pour l'identification et la caractérisation des unités géométallurgiques, un doctorant (D) pour la conception du jumeau numérique de la production du concentré de FHP et un stagiaire postdoctoral (P, à temps partiel) pour le développement de l'optimisateur de l'ordonnancement de la production minière. Elle générera les livrables suivants :

- les caractéristiques minéralogiques permettant d'identifier les unités géométallurgiques dans la fosse du Labrador;
- une identification d'unités géométallurgiques de la fosse du Labrador;
- un jumeau numérique pour une usine produisant un concentré de FHP pour appuyer les travaux d'ingénierie, de planification minière, d'optimisation et d'amélioration continue;
- des algorithmes d'optimisation de la planification à court terme prêts à être déployés pour maximiser les performances des usines alimentées par camion;
- des études de cas montrant les bénéfices de l'ordonnancement optimal de la production (optimisation de l'alimentation de l'usine) pour garantir l'atteinte du grade FHP;
- la diffusion des résultats (articles et présentations) mettant en valeur l'innovation réalisée au Québec;
- la formation de la relève scientifique, c.-à-d. deux titulaires de diplômes d'études supérieures en génie et un postdoctorant pour la valorisation responsable et durable du potentiel minier au Québec.

Partenaire du projet

- Minerai de fer Québec

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Maxime Claprood](#), UQAC (Université du Québec à Chicoutimi)

Objectif :

Le projet a pour but d'explorer l'utilisation de l'application Crowd Mag, développée par le NOAA, pour l'acquisition de données magnétiques dans le cadre de l'exploration minérale. L'objectif est d'intégrer ces données à d'autres données géophysiques pour améliorer la détection de gisements.

Le besoin de métaux critiques et stratégiques augmente avec la population et la transition énergétique, mais les découvertes deviennent plus rares à cause de la complexité géologique croissante. L'application Crowd Mag, bien que peu coûteuse et accessible, présente des défis liés à la qualité et à la variabilité des données.

Résultats attendus :

Le projet propose d'optimiser l'utilisation de ces données en les intégrant avec des données géophysiques et géologiques connues (OU avec les données géophysiques et géologiques dont on dispose). L'acquisition de données sur un site bien documenté permettra de tester différents paramètres d'acquisition pour valider la précision de l'application. Ensuite, des méthodes géostatistiques et des algorithmes d'apprentissage automatique seront utilisés pour améliorer la qualité des données et construire un modèle 3D de susceptibilité magnétique.

Le projet offre aussi une formation pratique pour des étudiants en géophysique et contribue à l'optimisation des méthodes d'exploration minérale avec des outils accessibles et peu coûteux. Les résultats permettront de mieux comprendre la fiabilité de l'application Crowd Mag et de définir des lignes directrices pour son utilisation en exploration minérale.

M. Claprood, professeur en géophysique appliquée à l'UQAC, possède une expertise en géostatistique et en analyse de données géophysiques. Il a utilisé Crowd Mag pour démontrer son application et analyser la dérive temporelle des données. Dominique Genna, professeur en métallogénie et en géochimie, apporte son expertise en exploration minérale et en géochimie des sulfures pour interpréter les données magnétiques liées aux gisements.

Le partenariat avec Mines Agnico Eagle Limitée, via Olivier Côté-Mantha, expert en minéralisation polymétallique, permet l'accès à un site minier pour les levés de terrain, renforçant ainsi l'arrimage du projet avec des connaissances terrain et des ressources pratiques.

Partenaire du projet

- Mines Agnico-Eagle

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 133 350 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Marc Constantin](#), Université Laval

Résumé :

L'émergence rapide des technologies liées au transport et aux énergies renouvelables est responsable de la forte augmentation des besoins en lithium. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) estime que, dans le cadre de la transition vers les énergies propres, le lithium est le minéral dont la demande augmente le plus rapidement. Selon l'AIE, la construction de nouvelles usines de production de batteries multipliera par 10 la quantité de lithium à extraire d'ici 2050 par rapport à celle de 2023 [1]. En date du début de 2025, parmi les projets et les mines actives des Amériques (Nord et Sud), 6 des 10 plus grosses ressources minérales en lithium sont situées au Québec. Malgré l'abondance des ressources minérales en lithium au Québec, la rentabilité des opérations est touchée (OU la baisse des prix du concentré de spodumène influence la rentabilité des opérations, ce qui compromet...) par la baisse des prix du concentré de spodumène ce qui compromet la viabilité des exploitations actuelles et futures.

Objectif :

Ce projet de recherche a pour but d'améliorer et d'accélérer la prise de décision dans l'exploitation du lithium grâce au développement de nouvelles méthodes rapides de cartographie par imagerie hyperspectrale de la minéralisation des pegmatites à spodumène. Le développement d'outils d'identification minéralogique sur les sites miniers et basés sur des mesures de haute résolution caractérisant à l'échelle du mètre à décamètre les veines de pegmatite conduira à l'amélioration de l'efficacité du traitement de minerais de lithium.

Résultats attendus :

Le projet de recherche permettra d'améliorer l'identification du minerai et du stérile. De plus, la somme des études minéralogiques détaillées facilitera la gestion environnementale des résidus résultant de l'exploitation minière.

Les résultats seront diffusés dans des publications scientifiques, évaluées par un comité de pairs, ainsi que dans des conférences nationales et internationales et dans des mémoires et thèses électroniques.

La formation d'un personnel hautement qualifié sera au cœur de notre programme de recherche. Ces jeunes chercheuses et chercheurs en devenir seront aptes à travailler pour des compagnies minières, des centres de recherche, des entreprises de développement technologique et/ou de services R et D de même que des gouvernements.

Partenaires du projet

- Nemaska Lithium, Telops, Sayona Québec

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 361 950 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Rodrique Daassi](#), Cégep de La Pocatière

Objectif :

Dans le contexte de l'exploitation du graphite par Nouveau Monde Graphite (NMG) au Québec, d'importants volumes de résidus forestiers et de sols de surface sont entreposés en andains. Ces andains, constitués de matières organiques et minérales, peuvent devenir des substrats fertiles pour la revégétalisation des sites miniers si leur gestion est optimisée.

Notre projet a pour but de mettre au point un système intelligent d'aide à la décision qui permettra de quantifier la valeur écologique des sols restaurés et d'optimiser les interventions de revégétalisation à long terme. L'approche adoptée repose sur l'utilisation de technologies avancées d'apprentissage automatique (*machine learning*) pour analyser les données écologiques des andains. Ces données, collectées par NMG, comprennent des informations biologiques (métagénomiques), physicochimiques, géospatiales et climatiques. En intégrant ces multiples paramètres dans un modèle prédictif hybride, combinant des algorithmes comme les forêts aléatoires (Random Forest), les réseaux neuronaux récurrents (LSTM), XGBoost et les réseaux bayésiens, notre système pourra identifier les tendances écologiques des andains et recommander des interventions adaptées pour améliorer la fertilité des sols et favoriser la restauration des écosystèmes.

Le projet inclut également le développement d'une interface numérique intuitive pour visualiser l'état écologique des andains, permettant aux gestionnaires de prendre des décisions éclairées. Cette interface fournira des recommandations contextuelles en fonction des conditions locales et des variations saisonnières, facilitant ainsi l'allocation optimale des ressources pour la restauration écologique. Une autre composante importante du projet réside dans l'analyse de données métagénomiques pour évaluer la biodiversité microbienne des andains et mieux comprendre les interactions entre les communautés fongiques, les propriétés physicochimiques des sols et les processus de revégétalisation. Cette analyse permettra d'identifier les indicateurs biologiques pertinents de la santé des sols et d'ajuster les stratégies d'amendement organique pour améliorer les conditions écologiques.

Résultats attendus :

Le projet aura des retombées environnementales, technologiques et socioéconomiques importantes. En favorisant la séquestration du carbone dans les sols restaurés et en réduisant la dépendance aux intrants synthétiques, il contribuera à la lutte contre les changements climatiques et à la préservation des écosystèmes terrestres. Le développement d'un système intelligent d'aide à la décision appliqué aux sites miniers renforcera également l'expertise québécoise dans l'innovation technologique pour la gestion durable des ressources naturelles. Enfin, ce projet offrira une formation pratique aux personnes étudiantes du collégial concernées, leur permettant d'acquérir des compétences en intelligence artificielle, en analyse environnementale et en gestion durable des écosystèmes.

Partenaire du projet

- Nouveau Monde Graphite

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 342 900 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Rodrique Daassi](#), Cégep de La Pocatière

Objectifs

À Rouyn-Noranda, la Fonderie Horne fabrique des métaux depuis presque 100 ans. Cependant, les activités de l'usine entraînent la production annuellement de 600 000 tonnes de déchets miniers, appelés scories, un sous-produit solide de la fusion du cuivre. Ces scories, distribuées au pourtour du site de la Fonderie dans des parcs à résidus, forment des sols durs et non propices à la vie. En plus des scories, la Fonderie Horne génère sur son site d'autres déchets, tels que des copeaux de bois et des cartons, estimés à des dizaines de tonnes par an, lesquels représentent un défi de gestion pour l'entreprise.

Devant ces constats, la Fonderie Horne fait l'une de ses priorités la recherche de solutions durables pour la restauration écologique des parcs à résidus et pour la gestion de ses matières résiduelles.

Dans le cadre de ce projet de recherche, Biopterre propose une stratégie innovante pour la restauration écologique des parcs à résidus de la Fonderie Horne en intégrant aux scories les matières résiduelles à haute valeur carbonée générées par la fonderie (copeaux de bois et cartons), et en utilisant des techniques de mycoremédiation pour créer un sol favorable à la vie végétale. Dans un premier temps, six recettes de substrats seront créées à partir de scories, de mélanges de copeaux de bois et de cartons, et d'un ajout de compost ou de fumier provenant de fermes locales. Les recettes produites seront inoculées avec deux champignons, le pleurote en huître et le polypore versicolore, qui possèdent des capacités remarquables pour décomposer le bois et rendre le sol favorable à la croissance des plantes, tout en emprisonnant les polluants. Les deux recettes ayant obtenu les caractéristiques les plus près d'un sol forestier seront ensuite sélectionnées pour faire croître en serres des plantes et arbustes indigènes au site minier et connus pour leur fort potentiel à coloniser les sols perturbés. La performance de la croissance des plantes sera suivie afin d'établir quelle combinaison substrat/plantes a le potentiel le plus grand pour la végétalisation du site. Enfin, la méthode sera reproduite directement sur une partie du site de la Fonderie Horne afin d'évaluer l'évolution des paramètres du sol et de la végétalisation dans un contexte réel de restauration sur une période de deux ans.

Résultats attendus :

Par la restauration des parcs à résidus, les nouveaux espaces verts créés embelliront la région et permettront le retour de la biodiversité floristique et, éventuellement, faunique. Une réduction des poussières potentiellement nocives pour la santé des habitants de la Ville de Rouyn-Noranda est également escomptée, démontrant ainsi l'implication de la Fonderie Horne dans la protection de l'environnement, mais aussi des communautés. Sur le plan économique, la stratégie de restauration proposée est peu coûteuse, car elle valorise des matières résiduelles disponibles sur le site, qui autrement doivent être gérées. Cette approche innovante, associant la valorisation en circuit court des résidus et la mycoremédiation, pourrait être adaptée pour la restauration d'autres sites miniers au Québec ou ailleurs.

Partenaire du projet

- Fonderie Horne

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 342 900 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Analyse des processus thermiques lors de la déposition hydraulique des résidus miniers en climat nordique

Chercheur responsable : [Simon Dumais](#), Université Laval

Objectif :

Les opérations minières en climat nordique doivent adapter la gestion des résidus miniers aux conditions froides afin d'optimiser le fonctionnement des parcs à résidus et la récupération de l'eau. Ce projet a pour but d'analyser les phénomènes thermiques saisonniers des résidus afin de mieux comprendre l'équilibre entre le gel durant l'hiver et le dégel en été.

Grâce à des analyses thermiques et des modélisations numériques avancées, les chercheurs étudient différents scénarios pour caractériser le comportement thermique des résidus déposés hydrauliquement ainsi que les impacts sur les écoulements au sein du parc à résidus et sur le comportement mécanique des résidus. En collaboration avec un partenaire minier, le projet fournira des recommandations concrètes pour optimiser les pratiques actuelles.

Résultats attendus :

Les résultats attendus incluent une meilleure stratégie opérationnelle maximisant les capacités de déposition tout en contribuant à des pratiques minières plus durables adaptées aux environnements nordiques.

Partenaire du projet

- Minerai de fer Québec

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 161 925 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Dominique Genna](#), Université du Québec à Chicoutimi

Objectifs :

Dans un contexte de transition énergétique mondiale, les métaux critiques et stratégiques (MCS) comme le cuivre, le gallium ou encore le tellure jouent un rôle essentiel. Ces métaux sont indispensables à la fabrication des batteries, des éoliennes et d'autres technologies vertes. Pour répondre à la demande croissante, il est nécessaire d'améliorer nos méthodes de recherche et d'exploration minière.

Le projet présenté ici a justement pour but de développer des outils modernes pour mieux comprendre et localiser ces ressources, en se concentrant sur la vaste région d'Eeyou Istchee Baie-James, dans le nord du Québec. Le cœur du projet repose sur l'étude d'un groupe de minéraux appelés sulfures (comme la pyrite ou la chalcoppyrite), qui sont souvent associés aux gisements de métaux. Ces minéraux renferment une foule d'informations sur les conditions qui ont mené à la formation des gisements. Grâce à des technologies d'analyse de pointe – notamment la spectrométrie de masse par ablation laser (LA-ICP-MS) –, il est possible de mesurer des concentrations très faibles d'éléments comme l'or, l'argent, l'arsenic ou encore le plomb dans ces sulfures. Ces « empreintes chimiques » permettent de mieux cerner la nature et l'origine des gisements. Le projet va encore plus loin en intégrant l'analyse des isotopes du plomb, une technique qui permet non seulement de mieux comprendre la source des métaux, mais aussi, dans certains cas, d'estimer l'âge de la minéralisation.

Cette information est précieuse, car elle aide à replacer les gisements dans le contexte géologique régional, un élément clé pour guider l'exploration minière vers de nouvelles cibles. Pour traiter ces données complexes, le projet utilisera également des méthodes d'intelligence artificielle, notamment des algorithmes de classification (comme la méthode Random Forest). Ces outils permettront de regrouper les gisements selon leur signature géochimique, de façon plus rapide et plus fiable qu'avec les méthodes traditionnelles. Au total, plus de 40 gisements représentatifs seront étudiés à travers la région, en mettant particulièrement l'accent sur le secteur de la mine Troilus. Des échantillons historiques provenant d'archives scientifiques seront réanalysés, et de nouvelles campagnes de terrain viendront compléter la base de données.

Résultats attendus :

En plus de renforcer les connaissances scientifiques, les résultats du projet seront directement utiles aux géologues du ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec (MRNF), qui pourront mieux interpréter les indices découverts durant leurs campagnes de cartographie géologique du territoire, et aux entreprises minières, comme notre partenaire Troilus Gold, qui y verront une méthode pour cibler plus efficacement les zones à fort potentiel. Finalement, ce projet formera une nouvelle génération de spécialistes en géologie minière, bien outillés pour répondre aux défis de demain. Il contribuera aussi à faire du Québec un leader de l'exploration responsable et innovante des métaux critiques, tout en respectant les réalités du territoire nordique.

Partenaires du projet

- MRNF, Mine Troilus

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Martin Grenon](#), Université Laval

Contexte :

La performance des chantiers souterrains est au cœur de la rentabilité économique des projets miniers. L'exploitation par chambres ouvertes est une méthode d'exploitation minière populaire en raison des niveaux de production élevés qu'elle permet d'atteindre. Pour optimiser la rentabilité de l'opération, il convient de maximiser le volume de minerais extraits par chantier tout en respectant la géométrie planifiée lors de la conception. Cependant, lors de l'exploitation minière, il y a régulièrement génération de volumes de sur-excavation (OB; roche ou matériau de remblai en dehors des limites de conception) ou de sous-excavation (UB; roche à l'intérieur des limites de conception laissée en place et non récupérée). Ces volumes non planifiés peuvent avoir un impact critique sur l'exploitation et la rentabilité de la mine. La sur-excavation peut entraîner des problèmes de stabilité nuisant aux chantiers adjacents et aux infrastructures minières, ainsi qu'un retard dans le processus de marouflage. Elle peut également diluer le minerai avec des matériaux indésirables, ce qui peut entraîner un taux de récupération sous-optimal à l'usine. La sous-excavation, quant à elle, peut entraîner une perte de minerai impossible à récupérer. Afin de réduire ces volumes de sur-excavation et de sous-excavation, les ingénieurs chercheront à les comprendre et à les prédire.

Les nouveaux outils lidars sur drone mis en fonction dans les deux ou trois dernières années dans l'industrie québécoise offrent un potentiel énorme et inexploité pour caractériser la structure aux parois des chantiers et mettre au point des approches permettant de quantifier la performance des chantiers de manière intégrée.

Objectif :

L'objectif général du projet de recherche est unique et permettra d'optimiser l'analyse et la prédiction de la performance des chantiers miniers, du point de vue des aspects géomécaniques, opérationnels et économiques.

Résultats attendus :

1. Le premier objectif est d'améliorer la caractérisation du régime structural des parois des chantiers en utilisant des approches novatrices basées sur les relevés lidars et photographiques sur drone.
2. Le second objectif est de développer et d'améliorer la modélisation DFN pour la conception de chantiers en intégrant les aspects critiques du régime structural sur la stabilité des chantiers.
3. Le troisième objectif est de pleinement intégrer la modélisation optimisée des DFN aux analyses de la stabilité et du comportement du massif rocheux. Des modèles d'équilibre limite seront premièrement mis au point. Deuxièmement, des modèles numériques reposant sur les éléments distincts seront utilisés afin d'analyser la performance des chantiers.
4. Le quatrième objectif consiste à analyser et à prédire la performance des chantiers en intégrant les paramètres opérationnels et géomécaniques. Puis, il s'agira d'intégrer la rentabilité économique aux analyses géomécaniques et opérationnelles de la performance des chantiers. Finalement, il faudra combiner les résultats précédents afin de quantifier le risque financier associé à la performance des chantiers.

Partenaire du projet :

- Consultation minière Alius inc.

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 190 500 \$ **Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.**

Élimination efficace de l'ammoniac des eaux souterraines minières par la technologie zéolithe

Chercheur responsable : [Ali Khosravanipour Mostafazadeh](#), Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue

Objectif :

Ce projet a pour but de développer une solution innovante pour l'élimination de l'ammoniac (N-NH) des eaux souterraines minières en utilisant la clinoptilolite, une zéolithe naturelle. L'objectif est d'offrir une approche modulaire, adaptée aux contraintes des sites miniers, notamment en ce qui concerne l'espace limité et le temps de résidence hydraulique réduit. L'accumulation d'ammoniac dans ces eaux représente un enjeu environnemental et sanitaire important, car elle peut entraîner l'eutrophisation des milieux aquatiques, une toxicité accrue pour les écosystèmes et la contamination des nappes phréatiques. Les méthodes traditionnelles, comme la nitrification-dénitrification biologique, l'oxydation chimique, le stripping ou les traitements membranaires, présentent des limites liées à leur coût, à leur complexité ou à leur efficacité conditionnelle.

L'échange ionique sur clinoptilolite apparaît comme une solution prometteuse, car il permet un traitement efficace tout en étant plus simple à mettre en œuvre et moins énergivore. Le projet a pour but de tester et d'optimiser une colonne d'échange ionique en déterminant les paramètres opératoires idéaux, notamment la granulométrie du matériau, le pH et le temps de résidence hydraulique. Une des questions cruciales concerne la compétition entre les ions dans les eaux minières, en particulier le magnésium, le calcium et le fer, qui pourraient nuire à (OU influencer sur) l'efficacité du procédé.

Un autre volet du projet concerne la régénération de la clinoptilolite. L'approche traditionnelle, qui repose sur l'utilisation d'acides minéraux comme le HCl et le H₂SO₄, présente des inconvénients majeurs, notamment un risque d'acidification des effluents et une possible altération du matériau. L'utilisation de l'acide hypochloreux (HClO) est envisagée comme une solution plus efficace, car elle permettrait non seulement de régénérer la zéolithe, mais aussi de transformer l'ammoniac capturé en nitrates, réduisant ainsi la toxicité des rejets.

Résultats attendus :

Ce projet devrait avoir des retombées environnementales importantes en réduisant la contamination des aquifères et en limitant la dispersion de l'ammoniac. Il contribuera également à améliorer la sécurité des travailleurs miniers en évitant l'accumulation de contaminants dans les galeries. D'un point de vue économique, l'optimisation du traitement des eaux minières devrait permettre une réduction des coûts d'exploitation, tout en ouvrant la voie à de nouvelles applications industrielles pour les partenaires du projet, notamment Technosub-Mudwizard et Eldorado Gold. Enfin, il représente une possibilité (occasion) d'avancement scientifique en approfondissant les connaissances sur l'échange ionique appliqué aux eaux minières et en formant des étudiants et chercheurs dans ce domaine stratégique.

Partenaires du projet

- Technosub, Eldorado Gold

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 380 886 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheuse responsable : [Claude Lamy Morissette](#), Cégep de Thetford

Objectifs

Plusieurs entreprises s'établissent actuellement dans les régions de Thetford Mines et de Val-des-Sources dans le but d'utiliser les résidus miniers amiantés (RMA) dans leur procédé. Cependant, les activités de ces entreprises peuvent engendrer la dispersion de l'amiante, nécessitant ainsi un contrôle accru dans leurs installations. Les méthodes de caractérisation pour l'amiante ont principalement été développées pour l'industrie de la construction, et elles ne sont donc pas nécessairement adaptées pour l'industrie minière et celle de la transformation minérale. Ces dernières ont besoin d'un niveau de précision adéquat pour permettre l'optimisation des processus et procédés, assurant ainsi une meilleure gestion des ressources. La proposition de recherche a pour but de développer d'autres méthodes de caractérisation des matières et matériaux contenant de l'amiante, adaptées aux besoins de l'industrie de la transformation minérale. Ces nouvelles méthodes seront créées à partir d'un microscope électronique à balayage (MEB), un instrument généralement accessible et facile d'utilisation, actuellement peu utilisé pour la caractérisation de l'amiante. Cet instrument possède une plus grande versatilité sur le type d'échantillons pouvant être analysé, offrant ainsi de nouveaux outils et une solution adaptée à l'industrie minière. Le MEB sera muni d'un détecteur d'énergie de dispersion (EDX) et d'un détecteur de diffraction d'électrons rétrodiffusés (EBSD), permettant la caractérisation chimique et cristallographique des fibres observées, comparable au résultat obtenu à partir de méthodes au microscope électronique à transmission (MET).

Résultats attendus :

L'approche méthodologique proposée permettra de développer des méthodes d'analyse qui sont adéquates pour les différents types de matières générées par l'industrie (solides, liquides et gazeuses) et qui répondent aux exigences réglementaires.

Ces nouvelles méthodes permettront d'assurer une meilleure gestion des produits amiantés dans toutes les sphères de la société québécoise, diminuant ainsi les risques pour la santé des travailleurs et des populations avoisinantes. Pour les entreprises, les résultats du projet contribueront à l'optimisation des opérations en fournissant des données de caractérisation plus précises, les méthodes étant adaptées aux besoins de l'industrie. Le succès du projet permettra d'approfondir les connaissances sur la méthode MEB-EDX-EBSD appliquée à l'amiante, mais également d'offrir une nouvelle approche sa caractérisation. Les résultats du projet pourront également être transposés à d'autres types de minéraux et de ressources, offrant ainsi une nouvelle méthode à l'industrie pour la caractérisation minérale. Cette méthode pourrait constituer un nouvel outil dans le cadre d'études en géométallurgie, assurant un développement optimal des ressources minérales du Québec et du Canada. L'inclusion de stagiaires de collège et de stagiaires postdoctoraux au projet assurera la formation d'une relève qualifiée pour nos équipes, nos partenaires de même que pour les différents acteurs de l'industrie minière et de la transformation minérale.

Partenaire du projet

- Pôle économique Chaudière-Appalaches

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez la chercheuse responsable.

Chercheuse responsable : [Cassandre Lazar](#), Université du Québec à Montréal

Objectif :

Le Québec est une région riche en minéraux et possède le plus de mines de métal au Canada. Il existe depuis 1995 une loi au Québec imposant aux compagnies minières de proposer un plan de restauration de leurs sites avant l'obtention d'un bail minier. Cependant, avant l'adoption de cette loi, les mines étaient abandonnées sans qu'aucun effort de restauration ne soit entrepris. Le Québec possède actuellement plus de 300 mines abandonnées, contaminées en éléments traces métalliques (ETMs), qui causent potentiellement une contamination des eaux de surface (lacs, rivières) et souterraine, avoisinantes.

Les eaux de ces mines abandonnées, comme tout habitat souterrain continental, contiennent des microorganismes provenant sûrement des eaux souterraines qui les ont envahies, mais aussi des sols et roches qui composent les mines. Ces microorganismes ont ainsi eu des décennies pour s'adapter à cet écosystème aquatique artificiel, et ils ont probablement mis en place des stratégies et voies métaboliques pour faire face aux ETMs et, donc, les transformer.

Dans ce projet de recherche, nous proposons d'évaluer les ETMs dans les eaux d'une dizaine de mines abandonnées au Québec, ainsi que dans les eaux de surface potentiellement connectées. Ces données seront combinées à des analyses géochimiques, isotopiques et spatiales afin d'identifier les sources potentielles de contamination en surface, de caractériser les types d'ETMs en place (OU qui s'y trouvent) et de générer des cartographies précises de leur répartition dans les environnements miniers étudiés.

Dans un deuxième temps, nous allons étudier la diversité et les voies métaboliques des communautés microbiennes dans ces mêmes eaux de mines, de surface et souterraines, afin de comprendre quelles espèces microbiennes y vivent, de quelle façon elles sont touchées et quelles fonctions métaboliques elles ont mises en place ou possèdent.

Enfin, dans un troisième volet du projet, nous voulons cultiver et isoler des souches microbiennes se trouvant dans les eaux des mines abandonnées, pour exploiter et utiliser leur potentiel de transformation des ETMs à des fins d'applications en bioremédiation.

Résultats attendus :

En identifiant les mécanismes physiologiques qui permettent à certaines souches microbiennes de tolérer les ETMs dans les mines abandonnées, il devient possible d'exploiter ces souches dans des stratégies de bioremédiation pour décontaminer les sites contaminés par ces métaux. De cette façon, nous pensons que ces anciennes mines détiennent en elles la clé de leur restauration. Nous aurons deux partenaires dans ce projet de recherche : le service de la gestion des sites miniers abandonnés du ministère des Ressources naturelles et des Forêts et Derena Géoscience, une firme de consultation offrant des services diversifiés dans le domaine de l'énergie et des ressources naturelles.

Partenaires du projet

- MRNF, Derena Géoscience

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez la chercheuse responsable.

Chercheur responsable : [Julien Maître](#), Université du Québec à Chicoutimi

Objectifs

Ce projet a pour but de concevoir un système informatique avancé capable de segmenter automatiquement les photographies de lames minces et de carottes de forage, d'identifier les minéraux et d'extraire des informations géométriques et texturales clés. Cette approche permettra d'intégrer les données pétrographiques dans des modèles d'intelligence artificielle (IA) et des systèmes d'information géographique (SIG), facilitant ainsi l'interprétation et la modélisation géologique.

L'un des défis majeurs de l'automatisation de la pétrographie réside dans la segmentation des objets constituant les roches (minéraux, veines, fractures, etc.), une tâche complexe et contextuelle. Actuellement, les méthodes de segmentation se concentrent sur des cas spécifiques (p. ex. : grès, minéraux opaques) et restent peu généralisables. Notre projet a pour but de surmonter ces limites en développant un modèle de segmentation basé sur des techniques d'apprentissage profond, notamment les « transformers » (Swin-UNet, TransUNet, Mask2Former) et l'optimisation par apprentissage automatique.

Pour y parvenir, un premier objectif sera la création d'un logiciel d'assistance permettant aux experts d'annoter rapidement les lames minces et les carottes de forage. Celui-ci intégrera le modèle Segment Anything Model 2 (SAM 2), qui propose automatiquement des objets à segmenter, et l'algorithme SLIC, qui offre plus de flexibilité pour l'annotation manuelle. Cette plateforme facilitera la constitution d'un jeu de données annotées de grande ampleur, indispensable à l'entraînement des modèles d'IA. Ensuite, un modèle fondateur de segmentation et de reconnaissance minéralogique sera entraîné en exploitant les techniques d'apprentissage supervisé et par transfert. Les images utilisées comprendront des lames minces en lumière polarisée simple et croisée, afin d'optimiser la différenciation des minéraux. Les résultats de la segmentation seront enrichis par une quantification détaillée des caractéristiques géométriques et texturales des minéraux, renforçant ainsi la précision des analyses géologiques.

Résultats attendus :

Un aspect clé du projet sera le développement d'un système de génération augmentée par récupération (RAG), intégrant une base de connaissances pétrographiques structurée (documents scientifiques, bases minéralogiques, modèles géologiques). Ce système permettra d'automatiser la production de rapports détaillés et standardisés, facilitant ainsi la communication des résultats et leur intégration dans des analyses prédictives.

Ce projet contribuera à moderniser l'analyse pétrographique, en améliorant la reproductibilité et l'efficacité des études géologiques. Il favorisera également le développement des compétences en géologie numérique et en intelligence artificielle, tout en renforçant les collaborations entre les milieux universitaire et collégial et l'industrie minière.

Partenaire du projet

- IOS Géosciences

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheuse responsable : Catherine Mulligan, Université Concordia

Objectifs

Parmi les différentes matières résiduelles produites par l'exploitation minière, l'industrie est responsable de la production des résidus alcalins qui, au fil du temps, peuvent ou pourraient entraîner l'introduction de métaux dangereux pour les ressources terrestres et hydriques. Dans un effort national en faveur de l'économie circulaire et de la conversion vers les sources d'énergie de remplacement, il existe un besoin croissant de récupération des minéraux critiques. La bioremédiation, écologique et potentiellement rentable, a attiré l'attention en raison de son potentiel dans le traitement des résidus contenant divers métaux, dont le cuivre, le zinc et le nickel. Les biosurfactants (rhamnolipides et sophorolipides) sont des composés naturels aux propriétés tensio-actives, qui offrent des possibilités prometteuses pour améliorer le processus d'assainissement. Par conséquent, le rinçage des solutions biosurfactantes à travers les déchets pourrait entraîner la récupération de différents minéraux à partir des matières résiduelles.

Ce processus biochimique ne contrôle pas seulement l'introduction de lixiviats dangereux dans l'environnement, mais il peut aussi offrir un potentiel de récupération de minéraux critiques des résidus alcalins.

Les principaux objectifs de cette proposition de recherche sont les suivants : a) évaluer le potentiel des biosurfactants pour améliorer l'efficacité de la bioremédiation des résidus à l'échelle du laboratoire ainsi que des simulations sur le terrain; b) évaluer la récupération du complexe biosurfactant/minéral critique du lixiviat par ultrafiltration et/ou des autres procédés de purification; c) déterminer le potentiel des espèces de production de biosurfactants pour l'extraction minière; d) évaluer les avantages pour l'environnement et réaliser une analyse du cycle de vie et une évaluation technicoéconomique du procédé mis au point.

L'objectif principal sera une solution évolutive sur divers sites industriels au Canada. Des résidus alcalins seront obtenus grâce à la collaboration avec Rio Tinto Fer et Titane (RTFT), à Sorel-Tracy, afin d'étudier comment et dans quelle mesure cette solution permet d'extraire des minéraux critiques de ce type de rejets, au Québec et ailleurs dans le monde.

Résultats attendus :

L'approche de biolixiviation proposée a le potentiel de limiter l'émission de quantités importantes de contaminants, tout en récupérant des minéraux critiques précieux.

Partenaire du projet

- Rio Tinto Fer et Titane

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez la chercheuse responsable.

Chercheur responsable : [Jacopo Profili](#), Université du Québec à Rimouski

Objectifs

La réhabilitation de nombreux sites éloignés complique la tâche, entraînant des problèmes logistiques et des coûts plus élevés. Aujourd'hui, l'utilisation récurrente d'espèces non indigènes pour accélérer le verdissement d'un site après sa fermeture constitue un défi majeur. Cette méthode dépend de l'utilisation d'intrants sur place, ce qui réduit les chances de rétablir la biodiversité originelle et augmente le risque d'introduction d'espèces invasives ou exotiques dans les sites. Actuellement, le gouvernement encourage l'utilisation d'espèces indigènes. Cependant, leurs taux de germination faibles, combinés à leur disponibilité réduite, rendent les coûts de ces approches encore inaccessibles dans la plupart des cas. De nouvelles stratégies, adaptées et favorisant l'utilisation d'espèces indigènes, doivent donc être envisagées afin d'améliorer la santé écologique des sites avant et après l'exploitation.

L'objectif de ce travail de recherche est de perfectionner un traitement innovant pour appliquer un stress biotique sur des semences indigènes. Ce projet cherche à approfondir notre compréhension des traits physiologiques induisant une résistance au stress biotique. Les connaissances acquises seront utilisées pour mettre au point une nouvelle méthode de sélection végétale artificielle. Cela permettra de créer des variétés végétales indigènes extrêmement résistantes, adaptées à la survie dans un environnement stérile et minier, et d'optimiser leur capacité à germer.

Résultats attendus :

Ce projet a pour but de remédier aux problèmes de faible taux de germination et de vitalité des espèces indigènes nordiques québécoises lors de leur ensemencement sur un substrat difficile (comme un sol stérile). Il a aussi pour but d'élargir les connaissances actuelles. Cette étude propose une solution pour améliorer la résilience et la durabilité des modèles végétaux utilisés dans le plan de restauration. Cette solution augmentera les chances de retrouver la diversité écologique initiale du site après sa fermeture, tout en réduisant les coûts de la restauration et en assurant un environnement plus sécuritaire à long terme.

Les partenaires industriels jouent un rôle crucial dans la réalisation de ce programme de recherche. Parmi elles, ViridisTerra, une entreprise renommée pour son expertise en restauration de milieux forestiers, collabore étroitement avec plusieurs organisations, y compris des universités, depuis une dizaine d'années. Grâce à une équipe, cette collaboration permettra d'envisager un transfert de technologie à la fin de la phase de recherche. De son côté, Métaux Osisko est déterminée à soutenir la recherche universitaire, dans l'optique d'acquérir de nouvelles connaissances et d'optimiser les méthodes actuelles en matière de restauration écologique. La société offrira l'occasion d'explorer les terrains miniers du site de Murdochville. Son équipe interne fournira aussi un soutien privilégié en permettant l'accès à des données de terrain supplémentaires, ce qui contribuera à l'avancement de la recherche dans ce projet.

Partenaires du projet

- Osisko, Viridis

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Bertrand Rottier](#), Université Laval

Objectifs

Les concentrés de cuivre extraits des gisements de porphyre et de skarn cuprifères représentent plus de 70 % du cuivre consommé mondialement et sont la source principale de plusieurs autres métaux critiques comme le tellure, le bismuth et l'indium. Ces quatre métaux critiques (Cu, Bi, Te, et In) sont essentiels pour soutenir le développement industriel de nos sociétés modernes et, plus spécialement au Québec, pour soutenir la filière métallurgique du cuivre locale et les sociétés de production de semiconducteurs.

Actuellement, le Québec est fortement dépendant de l'importation de concentrés de cuivre pour soutenir ces industries, créant ainsi des risques géopolitiques importants. La péninsule de la Gaspésie est la seule région du Québec ayant un fort potentiel en porphyres et skarn cuprifères, ce qui est souligné par la présence de Gaspé Cuivre, un gisement de porphyre et de skarn cuprifères de classe mondiale. Les gisements de porphyre cuprifère sont caractérisés par des systèmes d'altération à grande échelle, jusqu'à plusieurs kilomètres, qui constituent un des guides principaux pour leur exploration. Néanmoins, la compréhension de ces systèmes d'altération est basée sur l'étude de gisements mis en place dans des terrains dominés par des roches magmatiques. La compréhension des systèmes d'altération associés aux gisements de porphyre cuprifère mis en place dans des terrains sédimentaires, comme la Gaspésie, est limitée empêchant leur exploration de manière efficiente. De plus, bien que les concentrés de cuivre extraits des gisements de porphyre et de skarn cuprifères soient la source principale de Bi, Te et In, les phases porteuses de ces éléments et leur distribution au sein des minéralisations porphyriques et de skarns sont encore peu connues. De plus, les processus physicochimiques entraînant la précipitation de ces métaux des fluides hydrothermaux ne sont pas connus. Ce manque de connaissances empêche une valorisation efficace de ces minéraux critiques.

Le projet de recherche proposé a pour but d'utiliser le gisement de Gaspé Cuivre comme cas d'étude pour répondre aux problématiques exposées ci-dessus. Le projet compte deux objectifs principaux. Le premier est de caractériser l'évolution de la minéralogie, de la signature SWIR et de la chimie des minéraux d'altération des différentes zones d'altération associées au gisement de Gaspé Cuivre.

Résultats attendus :

Ces résultats permettront de créer de nouveaux outils d'exploration qui permettront une exploration plus efficace des gisements de porphyre et de skarn cuprifères dans la péninsule de la Gaspésie, mais aussi ailleurs dans le monde. Le deuxième objectif est de contraindre les processus physicochimiques contrôlant la distribution spatiale des éléments critiques (Bi, Te, In) au sein des minéralisations de type porphyrique et skarn de Gaspé Cuivre en combinant l'étude des inclusions fluides et la caractérisation minéralogique et chimique des phases porteuses de ces éléments critiques. Ces résultats permettront de maximiser le contenu de ces éléments critiques dans les futurs concentrés produits à Gaspé Cuivre et dans d'autres gisements similaires.

Partenaire du projet

- Osisko

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Étude fonctionnelle d'espèces indigènes de la Fosse du Labrador et leur potentiel en restauration minière durable

Chercheur responsable : [Sébastien Roy](#), Université de Sherbrooke

Objectifs :

Le Québec jouit de ressources minières riches en diversité et vastes en leur étendue. L'activité minière joue un rôle important dans le développement de son économie et de ses régions depuis plus d'un siècle. L'exploitation de ces ressources a cependant un impact environnemental, et les sites miniers, qu'ils soient actifs ou orphelins, doivent être restaurés une fois les activités terminées. Cette restauration a pour but de convertir les aires perturbées (les résidus miniers et les amoncellements de pierre) en aires stables, pourvues d'une végétation viable et qui ne requiert pas d'entretien. La pratique de restauration la plus répandue pour restaurer les dépôts de résidus miniers dans le Nord-du-Québec implique la déposition, sur ces résidus sablonneux, d'une couche de matière organique, suivie d'un ensemencement de végétation à emprise rapide. Ces végétaux sont souvent des herbacées et graminées, ce qui contraste avec l'environnement naturel avoisinant : la forêt boréale. Pourtant, dans l'environnement naturel, un bon nombre de végétaux rustiques sont capables de s'établir dans les substrats minéraux tels que les sables et affleurements rocheux.

En collaboration avec nos partenaires Minéral de Fer Québec, WSP, RAMO et le MRNF, nous étudierons justement comment des espèces végétales indigènes de la forêt boréale ont pu coloniser naturellement le dépôt de résidus miniers sablonneux du site Lac Jeannine, au sud de Fermont, qui a été abandonné en 1985. La végétation est éparse, mais des arbustes et autres plantes ont pu s'établir dans cet environnement hostile, pauvre en nutriments et exposé aux vents, et ce, sans intervention humaine. Ces espèces végétales indigènes ont des capacités exceptionnelles et sont d'un grand intérêt pour améliorer nos pratiques en restauration minière. La clé du succès de ces plantes vient en partie de leur capacité à établir des relations mutuellement bénéfiques avec des microorganismes du sol (bactéries et champignons) qui facilitent l'acquisition des nutriments essentiels à leur développement.

Résultats attendus :

Ce projet nous permettra de lever le voile sur ces interactions plantes-microorganismes pour des espèces végétales à fort potentiel pour la restauration dans la Fosse du Labrador, certaines mieux connues (saule, aulne) et d'autres moins (dryade, sabline), de manière à mieux les exploiter. Nous étudierons aussi quelles semences de la forêt adjacente parviennent, à l'aide du vent, à se rendre dans les différents secteurs de ce vaste dépôt de résidus de 3,8 km². Nous identifierons les contraintes qui font que peu d'espèces de la forêt avoisinante ont colonisé le parc à résidus au cours des quatre dernières décennies. Nous tenterons de déterminer comment la pluie de semences offerte continuellement par la forêt pourrait être exploitée, pour faciliter la restauration autonome du site, produisant ainsi une diversité plus grande d'espèces végétales. Notre équipe est composée de biologistes, d'ingénieurs et de biogéochimistes, et la formation qui sera offerte aux étudiantes et étudiants sera multidisciplinaire. Les connaissances et les savoir-faire qui seront acquis dans le projet aideront les intervenants du secteur minier à poursuivre l'amélioration des techniques de restauration écologique des sites miniers, tout en intégrant la flore indigène de la région.

Partenaires du projet

- MRNF, WSP, Minéral de fer, Ramo technologies

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable

Chercheur responsable : [Agus Sasmito](#), Université McGill

Objectifs :

Les secteurs des minéraux et des métaux sont des piliers essentiels de l'économie québécoise, fournissant du fer de haute pureté, un minéral essentiel pour alimenter l'économie. Cependant, ce secteur, et plus particulièrement le bouletage du minerai de fer, figure également parmi les contributeurs industriels les plus importants à la consommation d'énergie et aux émissions de gaz à effet de serre (GES). Le bouletage du minerai de fer, un procédé énergivore de production de matières premières de haute qualité pour la sidérurgie, dépend fortement des combustibles fossiles, tels que le coke et le gaz naturel, ce qui fait de la décarbonisation un enjeu crucial. Pour répondre à ce besoin urgent, le projet de recherche proposé explore des pistes novatrices pour réduire de façon notable l'empreinte carbone de la production de boulettes de minerai de fer en étudiant l'intégration de technologies de substitution de la biomasse et de chauffage par micro-ondes.

Le projet a plus précisément pour but : (1) d'évaluer l'utilisation du chauffage par micro-ondes pour le séchage, le préchauffage et le durcissement des boulettes de minerai de fer en remplacement du chauffage traditionnel à base de combustibles fossiles; (2) d'étudier la faisabilité de la substitution de la biomasse dans le bouletage et d'optimiser la composition du biochar pour maintenir ou améliorer la qualité des boulettes; (3) d'évaluer l'utilisation des micro-ondes pour le séchage et le durcissement des boulettes de minerai de fer substituées par la biomasse, permettant potentiellement l'élimination complète du charbon lors de la pelletisation; et (4) d'étudier l'utilisation des micro-ondes pour le réchauffement des boues de minerai de fer comme solution de remplacement aux systèmes traditionnels au gaz.

La méthodologie de recherche consiste en des expériences approfondies en laboratoire visant à analyser le comportement des boulettes de minerai de fer dans diverses conditions de substitution de la biomasse et de chauffage par micro-ondes.

Résultats attendus :

Les résultats attendus de cette recherche comprennent de nouvelles connaissances scientifiques sur les interactions entre le carbone dérivé de la biomasse, l'énergie des micro-ondes et les boulettes de minerai de fer, ainsi que des outils pratiques, tels que des montages expérimentaux et des modèles pour l'optimisation des procédés. De plus, le projet contribuera à la formation de personnel hautement qualifié, dont trois doctorants (un dans chaque université collaboratrice) et un étudiant à la maîtrise à l'Université McGill.

En fin de compte, ce projet soutiendra la transition vers un secteur minier plus durable en proposant des solutions innovantes pour décarboner le traitement du minerai de fer. Les résultats auront des retombées directes sur l'industrie du minerai de fer au Québec et au Canada, améliorant sa compétitivité tout en s'alignant sur les objectifs climatiques provinciaux. En valorisant les ressources locales en biomasse et en faisant progresser la technologie des micro-ondes, la recherche contribuera également au développement économique et aux objectifs environnementaux du Québec.

Partenaire du projet

➤ ArcelorMittal

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Renaud Soucy La Roche](#), Institut national de la recherche scientifique

Objectifs :

Le nickel (Ni) est essentiel au développement des technologies à faible empreinte carbone tels les panneaux solaires et les batteries des véhicules électriques. Afin de répondre à la demande croissante de Ni et de garder une position compétitive sur le marché mondial, le Québec et le Canada doivent impérativement trouver de nouveaux gisements. Les gisements traditionnels de Ni (+ cuivre (Cu), cobalt (Co) et éléments du groupe platine (EGP) en sous-produits) se sont formés dans des contextes géologiques qui ne sont pas associés à la formation de chaînes de montagnes, qu'on appelle contextes anorogéniques. Ceux-ci sont de plus en plus difficiles à trouver, mais il est possible de développer le potentiel minéral du sous-sol québécois grâce aux gisements non traditionnels associés aux suites anorthositiques du Protérozoïque. Ces suites sont formées de roches magmatiques d'une composition particulière et sont abondantes dans la Province de Grenville, une ancienne chaîne de montagnes.

L'efficacité de l'exploration pour le Ni-Cu-Co-EGP est toutefois limitée par la difficulté à cibler les suites anorthositiques les plus prospectives à cause d'un manque de connaissances sur le contexte géodynamique dans lequel elles se sont mises en place et sur les processus de minéralisation en Ni-Cu-Co-EGP spécifiques à ce type de roches magmatiques. Selon les données disponibles actuellement, il est impossible de déterminer si les suites anorthositiques les plus volumineuses, âgées de 1,16 à 1,13 milliard d'années, se sont toutes mises en place dans le même contexte (collision et effondrement orogénique post-collision ou extension). Puisque le contexte géodynamique influence les sources magmatiques, les mécanismes de transport du magma et les interactions entre le magma et la croûte continentale, il est critique de caractériser l'évolution tectonique afin de mieux comprendre le potentiel de minéralisation en Ni-Cu-Co-EGP de ces suites anorthositiques. Nous caractériserons donc la chronologie de l'enfouissement et les conditions de température et de pression atteintes, soit l'évolution métamorphique, par les roches dans lesquelles se sont mises en place trois suites anorthositiques majeures dans le centre et l'est de la Province de Grenville.

Résultats attendus :

Cela nous permettra de mieux comprendre le contexte géodynamique lors de leur formation. Une étude détaillée de la minéralisation à l'échelle d'un gîte de Ni-Cu-Co-EGP associé à une anorthosite de l'est de la Province permettra de mieux comprendre la source et la composition du magma à l'origine de la minéralisation, les mécanismes d'enrichissement en métaux critiques et stratégiques, la dynamique du système magmatique et l'interaction avec la croûte continentale encaissante.

Notre recherche permettra d'améliorer les modèles métallogéniques pour les suites anorthositiques, ce qui servira d'outil aux compagnies minières afin de mieux définir les cibles d'exploration et de promouvoir les investissements dans ce type d'exploration. À terme, les résultats du projet proposé pourront contribuer à sécuriser de nouvelles sources de Ni afin de répondre aux besoins croissants du Québec et du Canada.

Partenaires du projet

- MRNF, Go Metals Corp

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Développement d'un échantillonneur de fluide en profondeur pour l'exploration des ressources

Chercheur responsable : [Vincent Van Hinsberg](#), Université McGill

Objectifs :

Les fluides sont les principaux agents de transport de masse et d'énergie entre réservoirs terrestres et sont donc d'une importance majeure pour comprendre le cycle des éléments dans la croûte et la formation des gisements de minerais. Ce projet permettra d'avancer dans notre compréhension de ces fluides et de leur capacité à transporter des éléments, en les échantillonnant directement en profondeur, à leur état naturel. Nous construirons un échantillonneur capable de collecter les fluides à la profondeur voulue dans des puits et des forages de plus d'un kilomètre de profondeur, de fonctionner dans des conditions de température et de pression élevées et dans des fluides agressifs, et de préserver le fluide échantillonné et tous les gaz qui y sont associés en remontant à la surface. Ces puits sont abondants au Québec et proviennent d'explorations antérieures, par exemple pour l'or et le cuivre, et nous les réutiliserons ici, notamment pour soutenir l'exploration des métaux critiques. Une innovation majeure dans notre conception est un ensemble d'électrodes pour mesurer les conditions en profondeur, y compris la pression, la température, le pH et l'état d'oxydoréduction. Nous utiliserons cet échantillonneur pour étudier les fluides profonds dans divers contextes au Québec, notamment autour des gisements de minerais dans l'Abitibi et des réservoirs de fluides considérés comme une source d'énergie géothermique, des réservoirs potentiellement enrichis en éléments stratégiques comme l'hélium ou l'hydrogène, ou encore ciblés pour la séquestration du CO₂. Ainsi, on testera notre équipement en Islande, où les fluides sont affectés par des magmas, analogues des roches mafiques de l'Abitibi. Nous disposerons de données directes sur les teneurs en métaux des fluides profonds et sur la manière dont elles varient en fonction de la composition des roches hôtes et du cadre géotectonique.

Une hypothèse particulière qui sera testée est la présence des « particules » dans ces fluides profonds. La charge particulaire est courante dans les eaux de surface telles que les rivières, où elles sont souvent le principal porteur de métaux, mais elles ne sont pas prises en compte dans les fluides profonds. Des travaux antérieurs de notre équipe indiquent qu'elles se trouvent également dans les fluides profonds et qu'elles contribuent fortement à leur capacité de transporter les métaux. Si cette hypothèse est confirmée, il faudra revoir fondamentalement le transport et la concentration des métaux dans la croûte terrestre. Cela a des conséquences sur les flux de fluides et le temps nécessaire à la formation des gisements de minerais, ainsi que sur les contextes géotectoniques qui peuvent les former.

Résultats attendus :

Le projet fournira donc 1) un outil unique d'exploration des gisements de minerais et 2) permettra de collecter des informations qu'il est difficile autrement d'obtenir, lesquelles amélioreront notre compréhension de la formation des dépôts de minerais. Un meilleur ciblage de l'exploration réduira également l'impact environnemental et l'utilisation d'énergie et de matériaux. Cela permettra au Québec de rester à la pointe de la technologie de l'exploration et d'attirer des entreprises, des investissements et des talents.

Partenaires du projet

- Derena, Windfall Mine

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 380 986 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

La tourmaline : un outil pour identifier les vecteurs d'enrichissement en lithium des pegmatites LCT de la Baie-James

Chercheur responsable : [Vincent Van Hinsberg](#), Université McGill

Objectifs :

Le lithium (Li) est un métal essentiel pour passer à une société durable et neutre en carbone, et donc pour réduire les effets des changements climatiques. Il est aussi essentiel pour l'électrification des transports et pour la régulation et la gestion de l'offre volatile d'énergie solaire et éolienne. Les pegmatites à Li sont considérées comme essentielles pour fournir le Li nécessaire, et le Québec possède une abondance de pegmatites à Li pour en devenir un fournisseur mondial. Cependant, leur exploration est fortement inhibée par des lacunes fondamentales dans notre compréhension de la formation de ces pegmatites. Par conséquent, l'exploration sur le terrain reste la méthode la plus efficace pour identifier les minéralisations de Li, mais elle est coûteuse et inefficace.

Notre recherche a pour but d'élaborer de nouvelles solutions à ces défis en utilisant la tourmaline comme sonde de la genèse des pegmatites et des processus d'enrichissement en Li. La tourmaline est un minéral indicateur idéal, car elle est commune, sa composition reflète directement la température et la pression de son environnement de formation, ainsi que la composition des fontes et/ou des fluides dont elle provient, et elle est très résistante, ce qui lui permet de conserver ces informations. Cependant, à l'heure actuelle, son utilisation est limitée aux compositions sans Li. Nous développerons ici les extensions nécessaires à l'utilisation de la tourmaline dans les environnements riches en Li, y compris les modèles thermodynamiques, les calibrations pour la thermométrie de la tourmaline à Li de même que les données expérimentales sur le partage des éléments avec les fluides et les fontes contenant du Li.

Résultats attendus :

L'application de l'ensemble de ces outils permettra d'imposer des contraintes quantitatives sur la mise en place des pegmatites à Li et sur l'évolution chimique de ces fontes. Cela permettra de distinguer entre la cristallisation fractionnée et la fusion partielle en tant que mécanisme dominant de formation et de déterminer le rôle des fluides et des éléments de flux dans leur formation et leur évolution chimique. Ces connaissances fondamentales peuvent ensuite être utilisées pour identifier les zones propices à la formation de pegmatites à Li. Le projet rassemblera un grand ensemble de tourmalines provenant de pegmatites à Li et de leurs roches hôtes de la région de Baie-James. Il analysera ces échantillons pour les éléments majeurs et traces afin d'identifier les caractéristiques diagnostiques qui fournissent un vecteur clair et sans ambiguïté vers les minéralisations à Li. L'analyse chimique de la tourmaline deviendra ainsi un puissant outil d'exploration sur le terrain.

Pour faciliter sa mise en œuvre, nous élaborerons les protocoles d'analyse des caractéristiques diagnostiques identifiées à l'aide de la spectrométrie d'émission optique de plasma induit par laser (LIBS), une méthode analytique portable particulièrement adaptée à l'analyse de la tourmaline à Li, ainsi que les standards de tourmaline et le logiciel de calibration requis. Les nouvelles connaissances et les nouveaux outils se combineront pour fournir une solution de vectorisation sans ambiguïté pour l'exploration rentable du Li qui renforcera la compétitivité des entreprises d'exploration québécoises et aidera le Québec à devenir un important fournisseur mondial de Li.

Partenaires du projet

- MRNF, SOQUEM, Winsome, Loyal Lithium, Brunswick Mining, Innova Lithium

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 380 981 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.