

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

Résumés des projets financés en 2022

Compilation : Louis Bienvenu, ing.
Direction générale du développement de l'industrie minière
Ministère des Ressources naturelles et des Forêts
Juin 2024

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 : Répercussions 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 FRQNT

Appels de propositions	Annonce des financements aux chercheurs	Dates prévues de publication des rapports finaux
2022 : 28 nov. 2022	Sept. 2023	2027
2023 : 11 oct. 2023	Juin 2024	2028
2024 : automne 2024	Juin 2025	2029

Appel de propositions de novembre 2022 — Tableau des projets financés — Page 1

Appel	Responsable	Organisme de recherche	Titre	Axe	Partenaires	Participation partenaires	Subvention FRQNT
2022	Bédard, Paul	UQAC	Automatisation de l'acquisition et quantification des textures pétrographiques	5	IOS Services Géoscientifiques inc.	93 200 \$	381 000 \$
2022	Blais, Jean-François	INRS	Développement de filières biohydrométallurgiques pour la récupération des métaux et éléments de terres rares à partir des déchets électroniques	7	Carrefour Environnement Saguenay	30 300 \$	381 000 \$
2022	Calugaru, Iuliana Laura	Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue	Nouveau système modulaire de traitement passif par drain dolomitique pour des effluents miniers contaminés	4	Dolomite International inc.	45 000 \$	381 000 \$
2022	De Souza, Stéphane	UQAM	Les fondements de la genèse des pegmatites à lithium de la Province du Supérieur au Québec	5	Sayona Québec, Conseil CRI sur l'exploration minérale, Vision Lithium inc., MRNF	216 000 \$	381 000 \$
2022	Dumais, Simon	Laval	Conception et analyse des barrages miniers en zone de pergélisol	2	SNC-Lavalin, Mines Agnico Eagle Itée, Bentley Systems Inc.	142 800 \$	381 000 \$
2022	Gamache, Michel	Polytechnique	Jumeau numérique pour l'intégration de la mine à l'usine : géométallurgie, sobriété énergétique et décarbonisation	6	Mines Agnico Eagle Itée	39 000 \$	381 000 \$
2022	Gervais, Félix	Polytechnique	Métaux stratégiques associés aux pegmatites granitiques orogéniques de la Province de Grenville orientale : enrichissement, mise en place et détection géophysique	7	Station Uapishka, MRNF	66 700 \$	380 746 \$

Appel de propositions de novembre 2022 — Tableau des projets financés — Page 2

Appel	Responsable	Organisme de recherche	Titre	Axe	Partenaires	Participation partenaires	Subvention FRQNT
2022	Juneau, Philippe	UQAM	Optimisation et utilisation d'une technologie verte (phytoremédiation) pour les eaux contaminées par les métaux de rejets de l'industrie minière	4	Glencore, Organisme de bassin versant du Témiscamingue	60 000 \$	380 982 \$
2022	Kemache, Nassima	Cégep de Thetford	Développement d'un nouveau procédé propre de production de terres rares à partir des argilites et de valorisation des sous-produits dans des écociments	7	Clayson Ecominéreaux	45 000 \$	381 000 \$
2022	Laroche, Gaétan	Laval	Développement d'optiques fonctionnelles antibuée adaptées à l'exploitation minière en milieu nordique	2	Kalego solutions inc., Point Laz inc.	72 900 \$	381 000 \$
2022	Neculita, Carmen Mihaela	UQAT	Spéciation, impact sur la toxicité aquatique et traitement des thiosels des collecteurs de flottation et des résidus riches en pyrrhotite	4	Mine Raglan — Glencore	80 000 \$	381 000 \$
2022	Picard, Mathieu	Sherbrooke	Filtration des particules d'eau en sortie d'un réacteur permettant d'améliorer l'efficacité énergétique et la réduction des GES du préchauffage d'air des mines souterraines	3	Glacies Technologies inc.	46 200 \$	381 000 \$
2022	Rousse, Daniel	ETS	Décarbonation des équipements des entreprises minières du Québec	3	Hatch & Associés inc., mine Raglan — Glencore	169 440 \$	381 000 \$
2022	Roy, Sébastien	Sherbrooke	Mise en œuvre de l'initiative « <i>healing the land</i> » pour la consolidation des connaissances et l'implantation concertée de pratiques en restauration minière valorisant le patrimoine vivant du territoire Eeyou Istchee	4	Nemaska Lithium inc.	269 400 \$	381 000 \$

Appel de propositions de novembre 2022 — Tableau des projets financés — Page 3

Appel	Responsable	Organisme de recherche	Titre	Axe	Partenaires	Participation partenaires	Subvention FRQNT
2022	Sasmito, Agus	McGill	Optimisation et économies d'énergie dans la ventilation, le chauffage et le refroidissement des mines	1	Mines Agnico Eagle Itée	45 000 \$	381 000 \$
2022	Sasmito, Agus	McGill	Évaluation de la torche à plasma et de l'énergie hydrogène pour le remplacement des combustibles fossiles dans le traitement du minerai de fer	3	ArcelorMittal	55 000 \$	381 000 \$
Total : 16 projets						1 475 940 \$	6 095 728 \$

RÉSUMÉS DES PROJETS FINANCÉS EN 2022
Par ordre alphabétique des noms des chercheurs

Chercheur responsable : [Paul Bédard](#), Université du Québec à Chicoutimi

Objectif

Nous proposons la création d'une solution informatique qui analysera les photographies au microscope de lames minces pour en extraire des données quantitatives de proportions, de taille et de forme de minéraux ainsi que leurs relations spatiales. La solution informatique utilisera les avancées en vision et en intelligence artificielle (IA). En définissant un ensemble de caractéristiques chiffrables comme l'arrondissement, l'allongement ou l'intercalation de minéraux, la description des roches deviendra quantitative. Ce passage permettra de mettre à jour de nombreuses subtilités telles que la proximité de certains minéraux, un faible changement de l'allongement ou d'orientation que les textes descriptifs n'autorisent pas et devrait entraîner la géologie dans l'ère numérique moderne. De plus, les données recueillies pourront être plus facilement utilisées par l'intelligence artificielle et les systèmes d'information géographique parce que sous forme numérique (des nombres).

Résultats attendus

Ce projet offrira une méthode pour acquérir et quantifier des textures pétrographiques à partir de photomicrographies de lames minces. Cette méthode permettra de fournir des données plus justes et précises en quantifiant les textures pétrographiques. En utilisant l'apprentissage automatique, la solution informatique développée aura la capacité de poursuivre son apprentissage de textures sous la supervision et la rétroaction de géologues expérimentés. Ces données quantitatives pourront être utilisées par les systèmes d'information géographiques (SIG) et l'intelligence artificielle pour créer des interprétations et des modèles plus complexes. De plus, ces données quantitatives seront plus faciles à manipuler que des photomicrographies : données utilisables par l'informatique, espace disque réduit, etc.

Retombées escomptées

Les retombées sont un protocole pour numériser et extraire des données quantitatives des lames minces sous une forme exploitable par les SIG et l'IA. Ce développement permettra un nouvel essor de la géologie en améliorant les capacités des SIG et de l'IA. De plus, ce développement permettra d'extraire les données quantitatives de lames minces entreposées d'anciens projets. Ce projet permettra également de réduire la taille des données pétrographiques en les transformant en un vecteur ou en une matrice numérique nettement plus petite que la photomicrographie elle-même.

Partenaires du projet

- IOS Services Géoscientifiques inc.

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Jean-François Blais](#), Institut national de recherche scientifique (INRS)

Objectif

L'objectif global de ce projet est d'évaluer la performance de procédés biohydrométallurgiques pour l'extraction et la récupération des éléments de terres rares (ETR) et des autres métaux stratégiques à partir de déchets électroniques et de comparer ceux-ci aux procédés hydrométallurgiques définis actuellement dans une filière technologique de valorisation des déchets électroniques.

Les trois objectifs particuliers poursuivis sont :

1. Développer un procédé de biolixiviation pour la solubilisation des ETR et des autres métaux inclus dans les déchets électroniques (cartes de circuits imprimés et des écrans LCD/LED);
2. Évaluer la performance de procédés de biosorption pour la récupération des métaux et des ETR extraits des déchets électroniques;
3. Réaliser une étude technico-économique comparative des filières hydrométallurgiques sans et avec intégration de procédés biohydrométallurgiques pour le recyclage des métaux inclus dans les cartes de circuits imprimés et les écrans LCD/LED.

Résultats attendus

Ce projet de recherche permettra de comparer la performance de procédés microbiologiques d'extraction et de récupération des ETR et des métaux stratégiques inclus dans différents types de déchets électroniques par rapport à une filière hydrométallurgique ayant été développée récemment à l'INRS.

La performance des procédés biohydrométallurgiques sera établie sur la base de bilans massiques et d'une étude technico-économique détaillée. Les bioprocédés s'avérant plus performants que les variantes chimiques pourront être intégrés à la filière actuelle qui est présentement testée à l'échelle du projet pilote pour le traitement de déchets de piles et de déchets électroniques.

Retombées escomptées

Les connaissances qui seront développées dans le cadre de ce projet permettront à Carrefour Environnement Saguenay d'améliorer, par une réduction des frais d'exploitation, ses filières actuelles de recyclage des métaux et des éléments de terres rares inclus dans les déchets électroniques et qui sont actuellement testées dans le cadre d'un projet pilote réalisé avec l'équipe de recherche de l'INRS.

Partenaires du projet

- Carrefour Environnement Saguenay

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Juliana Laura Calugaru](#), Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue

Objectif

L'objectif principal de ce projet de recherche est d'évaluer une approche novatrice de traitement du drainage minier acide (DMA) par drains modulaires en polyéthylène à haute densité (PEHD) recyclé contenant de la dolomite naturelle $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ à haute pureté et de la dolomite mi-calcinée $[\text{Ca}(\text{CO}_3)\cdot\text{MgO}]$.

Les cinq objectifs particuliers du projet sont les suivants :

1. Évaluation des paramètres d'influence du pouvoir neutralisant de la dolomite;
2. Optimisation des essais de traitement de DMA en batch à l'échelle du laboratoire;
3. Mise en place de modules de 1 m³ pour le traitement de DMA;
4. Étude du potentiel de régénération de la dolomite et récupération des métaux;
5. Analyse technico-économique et transfert technologique.

Résultats attendus

1. Innovation dans les méthodes de traitement passif du drainage minier.
2. Avancement des connaissances et de la recherche appliquée sur le potentiel de la dolomite calcinée dans le traitement du drainage minier.
3. Développement des connaissances pratiques sur le comportement du PEHD recyclé dans des conditions biochimiques hostiles.
4. Mise au point d'une procédure de régénération de la dolomite en vue de sa réutilisation ou de son élimination sécuritaire et détermination des possibilités de valorisation des dépôts métalliques incrustés dans la surface de la dolomite.
5. Transfert de connaissances à l'industrie minière et à tous les autres utilisateurs des secteurs publics et privés travaillant dans le domaine de l'environnement minier.

Retombées escomptées

Sur le plan technique, l'approche décrite dans ce projet permettra de simplifier les interventions visant le traitement de la problématique liée à la résurgence des eaux acides sur les sites miniers et d'assurer l'intégrité des travaux de restauration déjà effectués. **Sur le plan économique**, elle permettra de réduire les coûts des interventions et le temps nécessaire au déploiement de la solution sur le site. **Sur le plan environnemental**, en plus de protéger les milieux récepteurs environnants, cette approche permettra d'accélérer la transition vers l'économie circulaire au sein de l'industrie minière en favorisant une nouvelle utilisation des déchets à base de PEHD générés par l'industrie minière (c.-à-d. conduites d'aération et autres conduites en plastique en fin de vie).

Partenaires du projet

- Dolomite international inc.

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : **Stéphane de Souza**, Université du Québec à Montréal

Objectif

L'objectif principal de ce projet est de développer une compréhension fondamentale de la genèse et de la mise en place des pegmatites à lithium archéennes dans la Province du Supérieur au Québec, sur la base d'une étude structurale, chronologique, pétrologique et géochimique étayée par des expériences et des modélisations sur deux exemples majeurs, ceux de Sirmac et de Moblan. Ces deux sites sont localisés dans une région nordique du Québec propice au développement minier : Eeyou Istchee Baie-James. Le développement de ces connaissances aura des incidences sur l'exploration du lithium au Québec.

Objectifs particuliers au projet :

1. Documenter le contexte de mise en place et l'âge des pegmatites et des phases intrusives associées à l'évolution tectono-métamorphique des roches hôtes;
2. Établir l'empreinte hydrothermale des pegmatites à lithium dans les roches hôtes en matière de minéraux indicateurs et de signature géochimique et isotopique;
3. Établir les caractéristiques et l'évolution magmatique des systèmes étudiés afin de déterminer si les pegmatites et les intrusions associées forment une série cogénétique;
4. Développer une base de données thermodynamiques des phases lithinifères pour permettre la modélisation de différents scénarios de cristallisation fractionnée des magmas, d'exsolution des fluides et de fractionnement des éléments associés dans ces processus;
5. Déterminer expérimentalement et appliquer les coefficients de partage des éléments-traces et des gaz rares, ainsi que des isotopes du lithium;
6. Tester l'hydrogéochimie comme un outil de détection de gîtes de lithium en utilisant les isotopes de l'hélium.

Résultats attendus et retombées escomptées

Cette recherche permettra d'approfondir notre compréhension de la formation des pegmatites à lithium, des facteurs clés pour atteindre l'enrichissement économique en lithium et de leur empreinte sur leur environnement immédiat. Elle fournira les connaissances fondamentales nécessaires à l'élaboration de modèles d'exploration efficaces. Il en résultera de nouvelles méthodes d'exploration des pegmatites à lithium au Québec et d'évaluation du potentiel économique des pegmatites individuelles une fois trouvées, profitant directement aux partenaires de cette recherche et à l'effort d'exploration plus large au Québec.

Les résultats seront publiés dans des revues à fort impact et en libre accès afin de les rendre accessibles sans délai à la communauté scientifique et aux autres utilisateurs de connaissances. Ils seront présentés dans le cadre de conférences universitaires et industrielles, dont Québec Mines + Énergie, XPlor-AEMQ et le forum Consorem.

Partenaires du projet

- Sayona Québec inc.
- Conseil cri sur l'exploration minérale
- Vision lithium inc.
- Ministère des Ressources naturelles et des Forêts

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

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

Objectif

L'objectif principal de ce projet est d'étudier les conséquences de nombreux facteurs (conditions d'exploitation, conditions du pergélisol, changements climatiques) sur la perméabilité des digues de retenue et des sols de fondation. L'effet de la dégradation thermique et des tassements de fonte sur la performance des structures, notamment à l'échelle des membranes imperméables, sera aussi étudié.

Les six objectifs particuliers du projet sont de :

1. Documenter et d'analyser le comportement des barrages miniers à composantes gelées;
2. Quantifier l'écoulement dans les sols gelés et partiellement gelés en fonction de l'hétérogénéité des propriétés hydrauliques des sols;
3. Quantifier l'effet thermique à court et long terme de l'écoulement sur les composantes gelées des barrages miniers;
4. Quantifier les déformations provoquées par la dégradation thermique des composantes gelées des barrages miniers;
5. Quantifier les conséquences des déformations sur la stabilité et la performance des barrages miniers;
6. Développer des outils d'ingénierie pour l'écoulement et la déformation des composantes gelées des barrages miniers.

Résultats attendus et retombées escomptées

Il est important de souligner que le projet de recherche a été défini dans le but de maximiser les retombées pour le secteur minier du Québec en optimisant les moyens de transfert aux ingénieurs de la pratique. Cette stratégie repose d'abord sur les retombées directement aux partenaires. **Pour SNC-Lavalin**, le gain d'expertise à propos des barrages à composantes gelées permettra d'optimiser les conceptions et de rassurer les clients québécois aux prises avec des problématiques nordiques.

L'opportunité d'apprendre à partir de la base de données de MAE est particulièrement d'intérêt afin d'étudier plusieurs types d'ouvrages et différentes conditions d'exploitation. **Pour Mines Agnico Eagle Itée**, il s'agit d'une occasion de planifier les futurs ouvrages et d'intervenir de manière éclairée sur les ouvrages afin d'éviter des ruptures. MAE agit ici dans un souci de partage des connaissances afin de favoriser les bonnes pratiques en développement durable dans le secteur minier québécois.

Pour Bentley Systems inc., il s'agit d'une occasion de consolider l'expertise en modélisation pour éventuellement faire des mises à jour pour prendre en compte certains phénomènes physiques plus précisément. Pour les trois partenaires, les possibilités de recrutement de personnel hautement qualifié sont aussi très pertinentes.

Partenaires du projet

- SNC-Lavalin
- Mines Agnico Eagle Itée
- Bentley Systems inc.

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

Jumeau numérique pour l'intégration de la mine à l'usine : géométallurgie, sobriété énergétique et décarbonisation

Chercheur responsable : [Michel Gamache](#), Polytechnique Montréal

Objectif

Le développement d'un jumeau numérique pour un complexe minier est une tâche colossale et non triviale. Dans ce programme de recherche, on propose de cibler d'abord le développement de jumeaux numériques (1) pour la coordination en temps réel des véhicules dans le réseau de transport souterrain, (2) pour l'évaluation en temps réel des opérations minières, (3) pour la gestion du flux de minerai entrant à l'usine de traitement du minerai (concasseurs, broyeurs) et (4) pour la gestion efficace des ressources électriques.

Ces quatre problèmes sont au cœur des préoccupations et des priorités de notre partenaire industriel. Le programme de recherche proposé se divise en cinq projets qui impliqueront une ou un étudiant à la maîtrise (M), trois au doctorat (D) et une ou un stagiaire postdoctoral.

Résultats attendus

L'un des sous-projets devrait permettre d'effectuer un ordonnancement optimal des paramètres de la production (tonnage par chantier, affectation des équipes aux activités, etc.) et d'adapter ceux-ci en temps réel tout en ayant une vision globale des activités à venir (sur un horizon de quelques semaines). Cet horaire de travail permettra de fixer les cibles de production essentielles pour la répartition des camions durant un quart de travail. Ce sous-projet devrait fournir un outil de gestion et de coordination des véhicules qui permettra d'optimiser les opérations de transport du minerai.

D'autres sous-projets permettront d'assurer la traçabilité des demandes électriques de la mine et le développement d'un outil pour optimiser l'utilisation des ressources électriques ainsi que de réduire les coûts. Le stagiaire postdoctoral intégrera les outils développés dans une interface commune qui permettra aux usagers de les utiliser plus aisément.

Retombées escomptées

Ce programme de recherche permettra de développer des outils de gestion qui amélioreront pour le partenaire industriel l'optimisation de ses opérations. Les projets ciblent des opérations où les gains de productivité sont parmi les plus importants pour l'entreprise.

De plus, avec l'arrivée des véhicules autonomes, le développement d'un tel outil de gestion en temps réel est essentiel et ouvre la porte à de nouvelles possibilités.

Le projet permettra de mieux gérer le flux de matériel entrant à l'usine de traitement et d'être moins réactif, de mesurer l'influence d'un changement de plan de production et de choisir le moment opportun de procéder à un changement, s'il y a lieu.

Partenaires du projet

- Mines Agnico Eagle Itée

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Félix Gervais](#), Polytechnique Montréal

Objectif

L'objectif général de ce projet, se déroulant au sud du réservoir Manicouagan dans la Province géologique de Grenville, est de documenter les processus liés à l'enrichissement des pegmatites granitiques en éléments de terres rares (ETR) et de tester si ces gîtes ont une signature pétrophysique particulière.

Objectifs particuliers

Pour atteindre l'objectif général d'ici à mars 2026, les travaux sont divisés en quatre objectifs particuliers qui visent à :

1. Déterminer l'évolution spatio-temporelle du système anatectique;
2. Caractériser l'évolution pression-température des roches hôtes aux pegmatites granitiques à différents niveaux de la paléocroûte;
3. Tracer l'évolution géochimique des pegmatites granitiques;
4. Caractériser les propriétés pétrophysiques des pegmatites granitiques.

Résultats attendus

Ces connaissances engendreront le développement d'un modèle géologique robuste et novateur pour l'enrichissement en ETR des pegmatites granitiques exposées dans les chaînes de montagnes anciennes qui couvre la majorité du territoire québécois, ainsi qu'à la conception de critères permettant d'explorer plus rapidement un territoire par la géophysique à la recherche de sites prometteurs. Ces assises serviront à la création de vecteurs, jusqu'ici inédits, pour l'exploration des MCS dans les pegmatites granitiques par l'industrie québécoise.

Retombées escomptées

Le modèle géologique que nous construirons permettra de cibler à quelle profondeur de la croûte ancienne les pegmatites granitiques sont susceptibles de contenir des gîtes d'ETR et de déterminer à quelle génération elles appartiennent. Armées de ces nouveaux vecteurs, il sera donc beaucoup plus facile pour les sociétés minières de cibler les endroits les plus favorables. Nos pairs pourront ensuite raffiner ces vecteurs pour améliorer l'efficacité de l'exploration. Notre partenaire principal, le ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF), utilisera aussi ces nouveaux vecteurs pour découvrir de nouveaux gîtes de pegmatites granitiques minéralisées en ETR au cours de ses campagnes de cartographie géologique et sera en mesure d'affiner l'interprétation de gîtes déjà découverts.

Nous espérons aussi que le partenariat établi ici avec la Station Uapishka, se poursuivra dans l'avenir et donnera le goût de la science à de jeunes Innus.

Partenaires du projet

- Station Uapishka
- Ministère des Ressources naturelles et des Forêts

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 380 746 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Philippe Juneau](#), Université du Québec à Montréal

Objectif

L'objectif principal du projet est de proposer une approche de phytoremédiation des éléments-traces métalliques (ETM), dont certains sont considérés comme stratégiques et critiques en utilisant des plantes non invasives, indigènes et donc adaptées aux conditions environnementales de l'Abitibi-Témiscamingue et du Québec.

Sous-objectifs :

1. Sélectionner des plantes aquatiques indigènes sur la base de leur capacité d'accumulation des ETM et de résistance à ceux-ci;
2. Déterminer, en laboratoire, les répercussions des facteurs environnementaux (pH, température et luminosité) sur la capacité de phytoremédiation des ETM des plantes sélectionnées;
3. Mettre en place des radeaux de végétation avec les plantes sélectionnées pour évaluer leur efficacité *in situ* à la sortie d'un bassin de traitement (bassin Nord-Osisko) et à la sortie d'une fosse (fosse Don Rouyn) et comparer avec la capacité des herbiers naturels à phytoremédier les ETM.

Résultats attendus

Nous prévoyons que quatre ou cinq espèces de plantes testées démontreront des tolérances suffisantes aux ETM testés sous les conditions environnementales étudiées ainsi que des capacités de phytoremédiation acceptables permettant d'envisager de les utiliser *in situ*. Des travaux antérieurs nous permettent d'estimer que les radeaux de végétation confectionnés avec les espèces sélectionnées aux objectifs 1 et 2 bioconcentreront les métaux 100 à 500 fois en seulement 7 jours pour les concentrations d'ETM trouvées aux sites étudiés. Les herbiers naturels devraient démontrer un facteur de bioconcentration environ 40 % plus faible.

Retombées escomptées

L'utilisation des radeaux de végétation utilisant des plantes résistantes aux ETM et efficaces pour leur phytoremédiation permettra d'améliorer la qualité des écosystèmes aquatiques et l'acceptabilité sociale du secteur minier, tout en étant moins onéreuses que les méthodes physico-chimiques classiques.

La réalisation de ce projet répondra à l'urgence d'obtenir des solutions pour préserver l'état de l'environnement aquatique dans la région de Rouyn-Noranda, mais aussi ailleurs au Québec.

Six publications sont attendues de nos travaux ainsi qu'une publication synthèse sur les méthodes les plus prometteuses de phytoremédiation des ETM. Un aspect important à retenir est la présence d'utilisateurs de la recherche à titre de partenaires, ce qui assure un transfert efficace des nouvelles connaissances.

Partenaires du projet

- Glencore — Fonderie Horne
- Organisme de bassin versant du Témiscamingue

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 380 982 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

Développement d'un nouveau procédé propre de production de terres rares à partir des argilites et de valorisation des sous-produits dans des écociments

Chercheur responsable : [Nassima Kemache](#), Cégep de Thetford

Objectif

Ce projet vise à développer un procédé d'extraction des éléments de terres rares lourdes (HREE) et à déterminer les propriétés pouzzolaniques du résidu d'extraction afin de le qualifier comme ajout cimentaire dans la fabrication des écociments.

À cet effet, quatre objectifs particuliers sont définis :

1. Caractériser les argilites pour déterminer leur composition minéralogique et chimique afin d'obtenir les teneurs en ETR et les phases minérales associées;
2. Développer et optimiser un procédé d'extraction des ETR par échange d'ions dans une solution acide;
3. Évaluer les propriétés pouzzolaniques du résidu de lixiviation en déterminant sa réactivité;
4. Effectuer une étude technico-économique du procédé d'extraction des ETR afin d'évaluer la viabilité économique du projet d'exploitation des argilites.

Résultats attendus

Les travaux réalisés dans le cadre de ce projet permettront de produire six livrables :

1. Rapport écrit faisant état des conditions opératoires optimales du procédé d'extraction des ETR à partir des argilites;
2. Bilan énergétique et bilan de masse global du procédé;
3. Diagramme d'écoulement du procédé;
4. La production d'écociments et la participation à la réduction des GES de l'industrie cimentaire en qualifiant les argilites comme matériaux pouzzolaniques;
5. Accumulation des connaissances et de données de conception en vue de procéder à l'implantation d'une usine pilote;
6. Formation d'étudiantes et d'étudiants de niveau collégial.

Retombées escomptées

La réussite de ce projet aura des retombées sur le plan économique et environnemental en développant un procédé d'extraction des ETR avec une optique « zéro déchet ». Sa réussite permettra également de relancer l'activité minière dans la région de Grande-Vallée, en Gaspésie, et par conséquent, de créer des emplois et de dynamiser l'activité économique de la région. D'autre part, la qualification des argilites comme matériaux pouzzolaniques permettra aux cimenteries de réduire leurs conséquences environnementales en diminuant leur production de clinker qui est la cause principale des émissions de gaz à effet de serre de cette industrie.

Partenaires du projet

- Clayson Écominéreaux

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

Développement d'optiques fonctionnelles antibuée adaptées à l'exploitation minière en milieu nordique

Chercheur responsable : [Gaétan Laroche](#), Université Laval

Objectif

L'objectif principal de ce travail de recherche consiste à développer une modification de surface antibuée obtenue par plasma à la pression atmosphérique pour une utilisation dans l'environnement minier.

Le premier objectif particulier visera à reproduire les tests de vieillissement représentatifs des conditions d'utilisation et la compréhension des phénomènes de réduction de visibilité provoqués à la surface d'optiques soumises à des conditions courantes en milieu minier (poussière, écarts de température, variation d'humidité relative, etc.). Ces connaissances seront utilisées pour concrétiser le second objectif particulier, à savoir la synthèse d'une couche mince antibuée et antireflet permettant de modifier durablement et économiquement la surface optique d'instruments de mesure ou d'équipements de protection.

Résultats attendus

Les résultats de ce projet permettront l'avancement des connaissances sur divers aspects, dont les interactions ou les adhésions entre des couches minces produites par plasma et des surfaces organiques ou inorganiques, l'optimisation des paramètres de traitements plasma et la résistance optique de couches minces obtenues par une décharge à la pression atmosphérique.

Selon l'importance et la pertinence des résultats obtenus, l'équipe de recherche envisagera de valoriser les avancées sous forme de brevet et de procéder à des publications dans des journaux scientifiques internationaux. Considérant les aspects innovants du projet, les résultats devraient permettre de rédiger au moins quatre publications dans des revues avec comité de pairs s'adressant respectivement aux communautés scientifiques de l'inspection minière, de l'optique et des procédés plasma.

Retombées escomptées

Ce projet vise à résoudre les problèmes liés à la perte de visibilité des travailleurs due à l'apparition de buée dans les mines souterraines. Dans le cas d'inspections, cette solution permettra d'améliorer le diagnostic des opérateurs analysant l'instabilité de surfaces rocheuses pour accroître l'efficacité de la production minière en garantissant un environnement de travail plus sécuritaire.

Partenaires du projet

- Kalego Solutions inc.
- Point LAZ inc.

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

Spéciation, impact sur la toxicité aquatique et traitement des thiosels des collecteurs de flottation et des résidus riches en pyrrhotite

Chercheur responsable : [Carmen Mihaela Neculita](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT)

Objectif

Cette proposition de recherche vise à évaluer la spéciation, les conséquences sur la toxicité aquatique et les méthodes de traitement des thiosels des collecteurs de flottation et des résidus riches en pyrrhotite.

Les deux objectifs principaux consistent à :

1. Mesurer l'efficacité comparative de la flottation des résidus sulfureux avec les xanthates et deux collecteurs alternatifs et caractériser les sous-produits de dégradation des trois collecteurs et leur devenir;
2. Mesurer l'évolution des thiosels et la performance de leur traitement par oxydation avancée (ozonation en microbulles et EF).

Résultats attendus

L'intérêt de ce projet collaboratif entre l'IRME-UQAT et l'entreprise minière est de répondre aux besoins de caractérisation adéquate des effluents contenant des thiosels afin d'optimiser leur traitement par une démarche scientifique.

Dans un contexte où l'utilisation des xanthates est de plus en plus restreinte, il devient critique de trouver des solutions de rechange performantes et moins toxiques pour les opérations minières qui traitent des minerais sulfureux. Ce projet permettra de mieux connaître les mécanismes de dégradation des thiosels et les causes de toxicité associées aux thiosels des collecteurs à base de mono-, de dithiophosphates et de mercaptobenzothiazole, lesquels sont actuellement perçus comme des remplaçants aux xanthates.

Retombées escomptées

Les retombées scientifiques du projet incluent, sans s'y restreindre, les suivantes : i) l'amélioration des connaissances sur les caractéristiques physicochimiques (y compris la spéciation) et la toxicité des effluents miniers contaminés par les thiosels, en provenance des résidus riches en pyrrhotite et des collecteurs; ii) le développement de nouvelles connaissances sur l'évolution temporelle et le traitement des thiosels; et iii) l'amélioration des connaissances requises par les exploitants miniers pour comprendre les situations critiques courantes, appréhender les potentielles problématiques et adopter les solutions pertinentes sur plusieurs sites miniers.

Le projet permettra de surcroît la formation de PHQ ayant des connaissances pointues et pertinentes. Les résultats seront diffusés dans des conférences nationales et internationales (un minimum de deux pour chaque doctorante et doctorant) et des articles scientifiques (un minimum de trois par thèse de doctorat).

Partenaires du projet

- Glencore — Mine Raglan

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

Filtration des particules d'eau en sortie d'un réacteur permettant d'améliorer l'efficacité énergétique et la réduction des GES du préchauffage d'air des mines souterraines

Chercheur responsable : [Mathieu Picard](#), Université de Sherbrooke

Objectif

L'Université de Sherbrooke, en collaboration avec Glacies Technologies, propose d'optimiser le réacteur afin qu'il filtre les particules de glace tout en minimisant la restriction qu'engendre l'équipement pour l'air de ventilation. Pour ce faire, un modèle multiphysique sera développé, ce qui permettra de concevoir et de mettre à l'essai différents filtres et d'étudier les effets de ce filtre sur la restriction de l'air et la capacité de chauffage de l'équipement.

Résultats attendus

1. Le projet permettra d'améliorer l'efficacité énergétique du réacteur de Glacies en réduisant ses pertes de charge et en limitant les besoins de chauffage par combustion de carburant. Une fois implantée dans l'industrie minière, la technologie pourra réduire les émissions de CO₂ liées au chauffage de +70 %, représentant environ 189 000 t CO₂ par année au Canada, selon les études de Glacies.
2. Le fait que le projet contribue à l'atteinte des objectifs de carboneutralité de l'industrie minière permettra d'améliorer l'image de l'industrie auprès des travailleurs, des collectivités environnantes et du public et, par conséquent, de faciliter le recrutement auprès des nouvelles générations.
3. Les sociétés minières subissent de plus en plus de pression de la part de diverses parties prenantes pour réduire leurs émissions de GES. Cependant, le retour sur investissement des technologies propres n'est pas toujours adapté au cycle de vie des mines.
4. Le projet permettra de contribuer à l'avancement d'une technologie propre adaptée à l'industrie en générant des économies d'exploitation importantes par la réduction de la dépendance aux carburants pour le chauffage de l'air.

Retombées escomptées

Ce projet aura des retombées pour Glacies Technologies, l'industrie minière et l'Université de Sherbrooke. En effet, pour Glacies, la collaboration avec le groupe de recherche du professeur Picard permettra d'accélérer le développement technologique et de répondre à des incertitudes liées à la conception grâce aux expertises en thermodynamique, en cinétique et de simulation CFD acquises par le groupe. Les solutions innovantes proposées bénéficieront à l'industrie minière en contribuant à leurs objectifs de carboneutralité en réduisant la demande en carburant pour le préchauffage de l'air des mines souterraines.

Pour l'Université de Sherbrooke, le projet accroîtra les connaissances théoriques et pratiques en thermodynamique et séparation de particules dans un écoulement biphasique. Il formera des étudiants diplômés qui seront sensibles aux enjeux de l'industrie minière et qui pourront occuper des postes à haute valeur ajoutée.

Partenaires du projet

- Glacies Technologies inc.

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Daniel Rousse](#), École de technologie supérieure

Objectif

Ce projet vise à :

1. Concevoir et à valider numériquement des solutions adaptatives à la gestion intelligente (microréseau) de l'énergie électrique consommée par des équipements miniers;
2. Simuler des solutions de stockage d'électricité à grande échelle : hydrogène vert (énergie), CAES (énergie), redox (énergie et puissance), accumulateurs électrochimiques (puissance) pour l'alimentation des équipements;
3. Simuler le comportement des divers types d'équipements (tracteurs, chargeuses, excavateurs, foreuses, etc.) dans le cadre de leur conversion à l'électricité, à l'hydrogène ou à l'air comprimé;
4. Assurer la sécurité des approvisionnements en simulant des scénarios d'utilisation des équipements convertis en phase avec la production et le stockage.

Résultats attendus

1. Un modèle numérique validé, contrôlé par un logiciel de gestion intelligente de l'énergie, adaptable à la production annuelle d'énergie éolienne et à la variabilité de cette source, à la consommation des équipements convertis à l'électricité, et à la capacité de stockage implantée.
2. Des modèles numériques propres à chacun des équipements, compatibles avec ce modèle de contrôle.
3. Une expertise renforcée dans la simulation des systèmes énergétiques décarbonés hybrides et intelligents avec usage minimal de combustibles fossiles.
4. Une base scientifique nouvelle pour consolider les connaissances validées antérieurement par le groupe de chercheuses et de chercheurs dans des projets connexes.

Retombées escomptées

1. Une réduction de l'utilisation de diesel pour l'alimentation des équipements miniers, et des répercussions écologiques qui y sont associés.
2. La formation de personnel hautement qualifié.
3. Du contenu pour la création de formations spécialisées.
4. Des partenaires industriels et scientifiques qui auront à leur disposition des résultats scientifiques pour ensuite déployer des solutions technologiques dans les mines au Québec.
5. Des résultats scientifiques pouvant être partagés dans des revues et au cours de congrès.

La réussite de ce projet permettra globalement de consolider la performance des entreprises minières et de leurs créneaux d'intervention dans la région du Nord-du-Québec.

Partenaires du projet

- Hatch & Associés inc.
- Glencore — Mine Raglan

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

Mise en œuvre de l'initiative « healing the land » pour la consolidation des connaissances et l'implantation concertée de pratiques en restauration minière valorisant le patrimoine vivant du territoire Eeyou Istchee

Chercheur responsable : Sébastien Roy, Université de Sherbrooke

Objectif

1. Développement de méthodes de production en région éloignée, avec l'implication de membres de la Communauté crie de Nemaska, de semis indigènes écologiquement propres à la réhabilitation. Les espèces et les méthodes seront approuvées et soutenues par le savoir traditionnel cri et les connaissances de l'équipe de recherche, respectivement.
2. Achèvement de l'étude (octroi FRQNT MI-285683) des assemblages naturels plantes-microorganismes qui se sont formés sur les plantations déployées sur la halde expérimentale de Whabouchi sans amendement et mesures, 3, 4 et 5 ans après la plantation, le développement des 5 espèces d'arbres et d'arbustes indigènes utilisés pour confirmer leur persistance et leur vitesse de croissance respective.
3. Déploiement de la télédétection pour cartographier la granulométrie de la roche sur cette halde expérimentale et en évaluer l'influence sur la variabilité spatiale observée (en survie et croissance) des semis plantés.

Résultats attendus

L'objectif 1 nous permettra de valider ou de développer les protocoles à employer pour valoriser le patrimoine végétal de la région de Nemaska (choix des espèces indigènes, connaissance de leur potentiel, techniques de germination, technique de production de semis pour la serre Whabouchi).

La mise en place de la serre à Whabouchi et les échanges réciproques de connaissances et de savoir-faire permettront à toutes les parties prenantes d'amorcer concrètement et de structurer les formations et les autres initiatives requises pour soutenir l'intégration et l'entrepreneuriat autochtone en restauration écologique. L'objectif 1 contribuera concrètement à l'inclusion des membres des communautés autochtones locales dans les opérations de restauration minière. Nous croyons que cette inclusion est indissociable du succès à moyen et long terme dans la filière de la restauration, tant sur le plan technique (c.-à-d. performance végétale) que dans le maintien de l'appui et de l'acceptabilité sociale envers l'exploitation minière.

Retombées escomptées

Ces résultats seront toutefois transposables à d'autres mines de la région et aussi pour la restauration de sites abandonnés en région éloignée, là où les sources d'amendements organiques sont rares et que les opérations de réhabilitation sont particulièrement coûteuses pour l'État.

Partenaires du projet

- Nemaska Lithium inc.

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

Optimisation et économies d'énergie dans la ventilation, le chauffage et le refroidissement des mines

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

Objectif

Le projet de recherche proposé est stratégiquement conçu pour développer des approches nouvelles et innovantes pour les modélisations multiéchelles et multiphysiques de la ventilation minière, y compris le chauffage et le refroidissement pour améliorer la sécurité, la productivité et les économies d'énergie ainsi que la décarbonisation des systèmes énergétiques miniers

Résultats attendus

Le projet proposé contribuera à la fois à l'avancement des connaissances scientifiques et au développement de nouvelles technologies pour des applications industrielles. Il apportera de nouvelles connaissances sur l'intégration des concepts fondamentaux et des aspects appliqués de la ventilation, du chauffage et du refroidissement des mines. Le nouveau modèle mathématique sera inédit et comblera une lacune dans l'industrie, à savoir le premier modèle multiéchelle et multiphysique. Il aura une haute résolution analogue à celle de la CFD, mais à un coût de calcul beaucoup plus faible, et sera aussi pratique que le logiciel du réseau de ventilation de la mine.

L'aspect appliqué de ce projet permettra de concevoir et d'optimiser les mines ainsi que d'innover en introduisant et en testant diverses nouvelles conceptions de ventilation et de climatisation totale pour les économies d'énergie, la réduction de l'empreinte carbone et la durabilité, telles que, mais sans s'y limiter, le chauffage et le refroidissement renouvelables des mines, l'atténuation du brouillard, le chauffage ou le refroidissement ponctuel, le refroidissement souterrain couplé au chauffage géothermique, la ventilation à la demande, le traitement avancé des poussières et la gestion du séparateur de poussières, dans le but d'améliorer la sécurité, la santé et la productivité des mines tout en maintenant la consommation d'énergie et les coûts d'exploitation à un niveau minimum.

Retombées escomptées

L'industrie minière au Québec, au Canada et dans le monde entier bénéficiera de l'augmentation du nombre de mines souterraines et certaines d'entre elles prévoient maintenant d'exploiter des mines profondes ou ultra-profondes dans les cinq à dix prochaines années, ce qui nécessite un outil pour reconcevoir et replanifier leur système de ventilation, y compris les problèmes liés aux coups de chaleur.

Les modèles proposés pourraient les aider, en tant qu'utilisateurs finaux, à concevoir et à modifier leur système de ventilation, y compris le chauffage ou le refroidissement, afin d'obtenir des performances optimales, de réaliser des économies d'énergie et de réduire les coûts.

Partenaires du projet

- Mines Agnico-Eagle Itée

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

Évaluation de la torche à plasma et de l'énergie hydrogène pour le remplacement des combustibles fossiles dans le traitement du minerai de fer

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

Objectif

Le projet proposé vise à aider les partenaires industriels à atteindre leur objectif de décarbonisation en évaluant deux technologies de décarbonisation, à savoir la torche à plasma et la combustion d'hydrogène, à intégrer dans l'usine de bouletage.

L'utilisation de la technologie du plasma dans le traitement du minerai de fer est nouvelle et n'a jamais été explorée auparavant. Des connaissances fondamentales et pratiques doivent être développées pour comprendre le comportement d'un tel système. Il est également possible d'évaluer la chimie du plasma pendant la réduction du fer, ce qui pourrait permettre de nouvelles améliorations, comme la réduction de l'énergie d'activation de la réaction de réduction à l'aide du gaz plasmatique. Par conséquent, la recherche dans ce domaine est essentielle pour le développement futur des ressources naturelles dans divers projets environnementaux qui, à leur tour, soutiennent le plan à long terme du gouvernement du Québec pour l'extraction durable des minéraux et la protection de l'environnement.

Résultats attendus

Le projet proposé contribuera à la fois à l'avancement des connaissances scientifiques et au développement de nouvelles technologies pour des applications industrielles. Il apportera de nouvelles connaissances sur l'intégration des concepts fondamentaux de la torche à plasma et de la combustion d'hydrogène dans l'usine de bouletage du minerai de fer. Les données expérimentales générées par la torche à plasma et la combustion d'hydrogène à l'échelle du laboratoire serviront de base à l'extension du système et à l'évaluation des performances de séchage, de préchauffage, d'induration et de refroidissement dans l'usine de pelletisation, ainsi qu'à la réduction initiale de l'oxyde de fer.

Le nouveau modèle permettra de mieux comprendre la granulation, y compris le séchage, le chauffage, l'induration et le refroidissement. Le modèle pourra être utilisé pour optimiser la conception et aider les partenaires industriels à intégrer la nouvelle technologie dans leur usine. Le projet proposé aidera à développer des lignes directrices pour la décarbonisation de l'usine de pelletisation du fer en utilisant la torche à plasma et la combustion d'hydrogène, en commençant par une réduction de 20 % du carbone jusqu'à la décarbonisation complète sans compromettre la qualité du produit.

Retombées escomptées

Compte tenu de l'annonce récente de la construction de l'usine Hy2gen H₂/NH₃ dans la région de Baie-Comeau, notre nouvelle approche est très prometteuse pour le verdissement de l'industrie sidérurgique dans le contexte québécois. S'il est couronné de succès, ce projet profitera aux gouvernements du Canada et du Québec ainsi qu'à l'industrie du Nord-du-Québec.

Partenaires du projet

- ArcelorMittal Exploitation minière Canada

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.

Développement de renforcement pour les pistes d'accès aux chantiers miniers : faisabilités techniques et enjeux environnementaux

Chercheur responsable : [Hajer Bannour](#), Cégep de Saint-Hyacinthe

Objectif

L'objectif de ce projet de recherche est d'établir un partenariat entre le Groupe CTT, l'Université de Sherbrooke ainsi que la société Afitex-Textel afin de développer des outils d'utilisation et de dimensionnement des géosynthétiques de renforcement pour la construction et la réhabilitation des pistes d'accès aux chantiers miniers dans les conditions québécoises.

Résultats attendus

1. Réduction substantielle des émissions de GES et des coûts de construction ainsi que de la fréquence de réhabilitation des pistes d'accès aux chantiers miniers.
2. Justification pertinente de l'efficacité de l'utilisation des produits de renforcement dans la construction et la réhabilitation des pistes d'accès aux chantiers miniers.
3. Disponibilité d'une solution de dimensionnement et d'estimation des conséquences environnementales dues à la construction des routes d'accès aux chantiers miniers.
4. Formation des étudiants en génie civil, des techniciens et des ingénieurs hautement qualifiés dans le domaine de la construction et de l'optimisation de la conception des routes pour le domaine minier en les sensibilisant aux enjeux environnementaux et au développement durable.
5. Aide aux entreprises du Québec pour développer et promouvoir l'utilisation de leurs produits dans le secteur minier de la province.

Retombées escomptées

Dans un contexte économique et socio-environnemental, le recours aux géosynthétiques dans la construction des routes des mines permettra de préserver les matériaux naturels utilisés. Ainsi, l'usage de géosynthétiques permettra de réduire la quantité de matières premières extraites et transportées, le nombre de kilomètres parcourus par les camions ainsi que le volume de CO₂ émis.

Cette vision est d'autant plus pertinente pour les populations autochtones qui luttent pour l'environnement et la réduction des émissions de GES sur leur territoire.

Partenaires du projet

- Afitex-Textel

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.