

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

Résumés des projets financés en 2023

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

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 FINANCÉS EN 2023
Par ordre alphabétique des noms des chercheurs

Appel de propositions d'octobre 2023 - Tableau des projets financés – Page 1

Appel	Responsable	Organisme de recherche	Titre	Axe	Partenaires	Participation partenaires	Subvention FRQNT
2023	Bouchard, Jocelyn	Laval	Autonomisation du broyage : géoméallurgie, jumeau numérique et paramétrisation adaptative	3	Agnico Eagle	30 000 \$	381 000 \$
2023	Dare, Sarah	UQAC	Développer les minéraux indicateurs des minéralisations Fe-Ti-V-P de la province de Grenville – âge, contamination crustale, source et exploration	5	MRNF	45 000 \$	381 000 \$
2023	Dumais, Simon	Laval	Ingénierie des routes d'accès aux ressources minérales du Nord québécois	2	Nemaska Lithium, Stantec, Gouvernement de la Nation crie, Solmax	60 000 \$	381 000 \$
2023	Giroux, Bernard	INRS	Nouvel apport de la sismique passive à la compréhension, à la quantification et au suivi des changements de contraintes et des fluctuations de l'aléa sismique dans les mines souterraines profondes	1	Agnico Eagle, ESG Solutions	175 000 \$	275 000 \$
2023	Gloaguen, Erwan	INRS	Développement d'outils d'apprentissage automatique pour soutenir le géologue à définir des cibles d'exploration dans les environnements métasédimentaires	5	Derena Geoscience, Geostack	75 000 \$	381 000 \$

Appel de propositions d'octobre 2023 - Tableau des projets financés – Page 2

Appel	Responsable	Organisme de recherche	Titre	Axe	Partenaires	Participation partenaires	Subvention FRQNT
2023	Kandil, Nahi	UQAT	Vers un jumeau numérique (Digital Twin) avancé : définition des besoins en connectivité et localisation dans le secteur minier	6	Meglab	30 000 \$	381 000 \$
2023	Kolliopoulos, Georgios	Laval	Développement d'un procédé hydrométallurgique avec zéro rejet liquide pour le traitement des concentrés de nickel avec recyclage d'eau et stockage simultané du CO₂	4	Corem	40 000 \$	381 000 \$
2023	Kolliopoulos, Georgios	Laval	Récupération et recyclage écologique des métaux avec une nouvelle approche solvométallurgique sans l'utilisation d'eau et de réactifs acides/bases toxiques	7	SGS Canada, Magneto Investment, ArcelorMittal Produits Longs, Appel à recycler, Exterra Carbon	115 410 \$	381 000 \$
2023	Lamy Morissette, Claude	Cégep de Thetford	Optimisation d'une nouvelle méthode de minage sélectif par fragmentation thermique	6	G.E.T.T. Gold	157 700 \$	381 000 \$
2023	Nedil, Mourad	UQAT	Les systèmes de communication sans fil avancés pour l'autonomisation des véhicules dans les mines souterraines	6	Télébec, Meglab	120 000 \$	381 000 \$
2023	Pasquier, Louis-César	INRS	Développement de nouveaux outils d'analyse pour la valorisation de résidus miniers amiantés	7	3R Mineral	36 000 \$	381 000 \$

Appel de propositions d'octobre 2023 - Tableau des projets financés – Page 3

Appel	Responsable	Organisme de recherche	Titre	Axe	Partenaires	Participation partenaires	Subvention FRQNT
2023	Raymond, Jasmin	INRS	Valorisation de l'eau de dénoyage des mines souterraines en énergie géothermique	3	Agnico Eagle, Induktion, Industries Blais	90 000 \$	381 000 \$
2023	Rosabal Rodriguez, Maikel	UQAM	Biosurveillance de la contamination métallique minière des écosystèmes aquatiques en intégrant des approches multidisciplinaires	4	MELCCFP	56 400 \$	381 000 \$
2023	Rousse, Daniel	ÉTS	Décarbonation des entreprises minières du Québec : conversion et stockage d'énergie	3	Hatch & Ass	139 440 \$	381 000 \$
2023	Saeidi, Ali	UQAC	Développement d'une approche de prévision des phénomènes de coup de terrain à proximité des grandes structures géologiques dans les roches métamorphiques	1	IAMGOLD Westwood	119 160 \$	304 800 \$
2023	Sasmito, Agus	McGill	Amélioration de la conception et intégration dans la mine de la congélation par pulvérisation pour le chauffage et le refroidissement renouvelables de la mine	3	Glacies Technologies	90 000 \$	381 000 \$
Total : 16 projets						1 379 110 \$	5 991 225 \$

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

Objectifs

La programmation de recherche proposée aspire à fournir les outils pour réduire la consommation énergétique du broyage dans les mines actuelles. Les objectifs spécifiques du projet sont les suivants :

1. Concevoir un modèle de simulation de type jumeau numérique pour un circuit de broyage intégrant les caractéristiques minéralogiques du minerai;
2. Développer des méthodes d'optimisation en temps réel selon les objectifs de production, les coûts d'opération, l'énergie consommée et les revenus générés;
3. Quantifier les bénéfices et économies d'énergie dans des conditions géométabllurgiques variables.

Résultats attendus

La programmation de recherche générera les livrables suivants :

1. Un jumeau numérique des opérations de broyage de l'usine pour appuyer les travaux d'ingénierie, de contrôle, d'optimisation et d'amélioration continue;
2. Des algorithmes d'optimisation en temps réel prêts à être déployés en usine, spécifiquement conçus pour minimiser l'empreinte énergétique des circuits de comminution;
3. Des études de cas montrant les économies d'énergie selon la variabilité géométabllurgique;
4. La diffusion des résultats (articles et présentations) mettant en valeur l'innovation réalisée au Québec;

Retombées escomptées

La réalisation de la programmation de recherche en partenariat avec Mines Agnico Eagle produira un ensemble d'outils numériques permettant de réduire dès maintenant l'empreinte énergétique des circuits de broyage. Le transfert des résultats attendus contribuera ainsi explicitement à la matérialisation durable du potentiel minier du Québec en général pour toutes les usines de traitement des minerais en activité sur le territoire et en particulier auprès des futurs producteurs de minéraux critiques et stratégiques que sont Nouveau Monde Graphite, Nemaska Lithium et Sayona – North American Lithium. En effet, ceux-ci prévoient tous utiliser les technologies conventionnelles de broyage. Les retombées se manifesteront à terme par une réduction significative des besoins pour de nouvelles capacités de production d'électricité pour répondre à la décarbonisation des transports, et ce, sans impacts environnementaux.

En outre, le développement d'un jumeau numérique et de systèmes d'optimisation en temps réel mettra en évidence des opportunités pour l'autonomisation des procédés minéralurgiques. Une telle avancée constitue une retombée considérable qui pourrait contribuer à atténuer les effets de la rareté de la main-d'œuvre spécialisée en réduisant le nombre de personnes affectées à l'opération et à l'entretien mécanique.

Partenaire du projet

- Mines Agnico Eagle Itée

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Développer les minéraux indicateurs des minéralisations Fe-Ti-V-P de la province de Grenville – âge, contamination crustale, source et exploration

Chercheuse responsable : [Sarah Dare](#), Université du Québec à Chicoutimi

Objectifs

Ce projet comporte trois objectifs majeurs qui permettront d'améliorer la compréhension des minéralisations en Fe-Ti-V-P liées aux anorthosites et leur exploration en utilisant la chimie minérale de l'apatite et d'oxydes :

1. Dater directement les minéralisations en Fe-Ti-V-P (fer – titane – vanadium – phosphore) associées aux anorthosites : utiliser l'apatite, qui est abondante dans la minéralisation, pour déterminer l'âge igné, en utilisant le nouveau géochronomètre Lu-Hf. La détermination de l'âge U-Pb des apatites pourrait davantage refléter l'âge igné ou métamorphique;
2. Développer de nouveaux outils pétrogénétiques : utiliser l'apatite pour donner des indications sur la nature de la source mantellique, et le degré et la nature de la contamination crustale du magma pour former la minéralisation en Fe-Ti-V-P;
3. Développer de nouveaux outils pour l'exploration minérale : utiliser les éléments traces des apatites et des oxydes (ilménites et magnétites) afin de construire des diagrammes permettant la prédiction des types de minéralisation (Fe-Ti-V-P associés aux anorthosites et Nb-ÉTR associés aux roches alcalines) et leur contexte.

Résultats attendus

Les résultats attendus de ce projet de stagiaire postdoctorale sont d'améliorer notre compréhension des massifs anorthositiques de la province de Grenville ainsi que de mieux caractériser leurs minéralisations, afin d'améliorer les critères d'exploration associés aux minéralisations en Fe-Ti-V-P.

Plus précisément, ces travaux donneront lieu à plusieurs publications scientifiques dans des journaux de rang international et produiront des diagrammes de discriminations utilisables par les industriels, le monde académique et les géologues du ministère des Ressources naturelles et des Forêts.

Retombées escomptées

Amélioration de l'exploration des minéralisations en Fe-Ti-V-P et autres éléments critiques et stratégiques au Québec et dans le monde. La province de Grenville est dotée d'une quantité exceptionnelle de ces gisements et leur étude par l'intermédiaire de ce projet permettra un énorme pas en avant dans leur compréhension actuellement limitée. D'autre part, cette étude utilise des techniques analytiques de pointe qui mettront en avant la qualité des laboratoires québécois à l'international.

Partenaire du projet

- MRNF

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez la chercheuse responsable.

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

Objectifs

Le projet poursuit les objectifs spécifiques suivants :

- OBJ1 Développer des outils d'ingénierie routière et des solutions pour la conception et l'optimisation du cycle de vie des routes d'accès aux ressources minérales;
- OBJ2 Développer des stratégies de transport respectueuses des communautés et de l'environnement pour minimiser les impacts du transport de concentré;
- OBJ3 Optimiser le transport du concentré de lithium sur le territoire Eeyou Istchee Baie-James.

Résultats attendus

Les outils suivants seront développés dans le cadre du projet :

- Méthodologie basée sur le risque pour quantifier le trafic lié à l'exploitation de ressources minérales pour faire la conception des chaussées et des infrastructures routières;
- Outil décisionnel pour la configuration des camions utilisés pour le transport du concentré prenant en compte les impacts sur les communautés et sur la dégradation de la chaussée;
- Données pour le dimensionnement par approche mécaniste empirique de chaussées avec utilisation de géosynthétiques de renforcement

Retombées escomptées

Le moment est particulièrement propice pour la réalisation de ce projet, car il concorde parfaitement avec les premières années d'exploitation de la mine Whabouchi et le début du transport de concentré sur la route du Nord. La section d'essai permettra d'optimiser avec des données réelles les opérations de transport. La mise en place d'une section d'essai complète est très significative pour la région, car elle pourra servir dans le futur pour d'autres projets liés au transport minier. L'équipe de chercheurs a contribué à la mise en place et au maintien de sections d'essai similaires dans des environnements rudes, notamment une section d'essai sur l'autoroute Inuvik-Tuktoyaktuk (Dumais et Doré, 2019) et une autre sur la route Billy-Diamond.

Partenaires du projet

- Nemaska Lithium
- Stantec
- Gouvernement de la Nation crie
- Solmax

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

[Nouvel apport de la sismique passive à la compréhension, à la quantification et au suivi des changements de contraintes et des fluctuations de l'aléa sismique dans les mines souterraines profondes](#)

Chercheur responsable : [Bernard Giroux](#), Institut national de la recherche scientifique

Objectifs

L'objectif général du projet est d'accroître le niveau de compréhension du lien entre la sismicité minière et l'évolution du champ des contraintes au sein des massifs rocheux soumis au minage. Concrètement, on cherche à évaluer l'impact des activités de production en chantier, de la progression de la séquence d'exploitation sur le niveau de contraintes induit dans le massif rocheux et le niveau résultant d'aléa sismique.

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

1. Suivre expérimentalement la progression du champ des contraintes dans deux secteurs de la mine identifiés par notre partenaire;
2. Utiliser et améliorer la méthode de Dip et al. (2021) pour mesurer les changements de vitesse sismique dans le massif rocheux à partir des données sismiques;
3. Étudier la corrélation entre les changements de vitesse sismique et les changements des contraintes observés et déterminer les limites d'applicabilité de la méthode de Dip et al. (2021) dans un contexte de production;
4. Vérifier s'il existe une relation statistique entre la magnitude des événements sismiques et les changements de vitesse.

Résultats attendus

Ce projet améliorera la compréhension de l'impact d'une séquence d'exploitation sur la redistribution des contraintes et la sismicité qui en résulte. Un outil informatique sera développé et permettra aux mines d'interpréter les changements de contraintes induits par la séquence d'exploitation, en continu. Cet outil sera basé sur la méthode de Dip et al. (2021) et utilisera les données sismiques enregistrées à la mine comme paramètres d'entrée. Ainsi, pour des secteurs critiques, l'outil permettra d'interpréter l'état des contraintes en temps quasi réel, au fur et à mesure que la séquence d'exploitation progresse. L'approche implémentée dans cet outil aura été calibrée à partir de mesures de variations des contraintes recueillies in situ au moyen de cellules CSIRO HID. À terme, le projet jettera les bases d'une méthodologie qui permettra aux mines de profiter d'une valeur ajoutée à leur système de surveillance microsismique déjà en place, à savoir l'évaluation des variations de l'état de contrainte à partir des mesures sismiques.

Retombées escomptées

Ce projet de recherche permettra un accroissement du savoir-faire québécois dans le domaine des mines souterraines profondes. Les outils développés dans le cadre du projet trouveront une application directe chez les partenaires industriels : le complexe minier LaRonde et ESG Solutions. La méthodologie développée sera transférable auprès d'autres mines souterraines dont l'exploitation génère la sismicité. Parmi les retombées de ce projet de recherche, il faut compter l'amélioration de la sécurité des travailleurs miniers et de la viabilité économique des opérations minières profondes.

Partenaires du projet

- Mines Agnico-Eagle Ltée et ESG Solutions

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 275 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Erwan Gloaquen](#), Institut national de la recherche scientifique

Objectifs

L'objectif de cette proposition de recherche est d'adapter des algorithmes de traitement d'images par apprentissage automatique profond semi-supervisé pour démocratiser le potentiel des données géophysiques aéroportées et satellitaires dans le but de faire la prédiction de cibles de gisements dans les terrains métasédimentaires au Québec (une roche métasédimentaire est un type de roche métamorphique dérivé d'une ancienne roche sédimentaire).

Plus précisément, les objectifs techniques sont les suivants :

1. Entraîner un réseau de neurones profond permettant d'analyser les données géophysiques aéroportées et satellitaires afin de faire de la reconnaissance de textures géologiques multiéchelles contraintes par les échantillons récoltés sur le terrain pour la définition de cibles d'exploration;
2. Générer des vecteurs d'exploration en utilisant les analyses géochimiques sur les échantillons par réseau de neurones phylogénétique.

Résultats attendus

Les résultats attendus consistent en des architectures de réseaux de neurones profonds qui permettront aux compagnies partenaires d'accroître leurs chances de succès en exploration minérale dans les environnements métasédimentaires du Québec et dans le monde.

L'approche phylogénétique est une approche très novatrice pouvant générer des vecteurs d'exploration très sensibles aux faibles variations de propriétés géochimiques. Ces outils numériques pourront être améliorés avec de nouvelles données géochimiques acquises à travers diverses futures campagnes et, à l'instar des larges modèles de langage comme ChatGPT, ils deviendront meilleurs pour faire des prédictions. Ces modèles pourront aussi être adaptés à d'autres environnements géologiques.

Retombées escomptées

L'augmentation des chances de découvertes permettra de faciliter la transition énergétique avec des minéraux provenant du Québec. Notre personnel hautement qualifié (PHQ) va acquérir des connaissances en gestion de projet en équipe, en programmation, particulièrement en apprentissage profond, ainsi qu'en géologie, en géophysique et en géochimie d'exploration. Notre PHQ formé dans ces domaines offrira aussi aux entreprises qui l'embaucheront la possibilité d'accroître leur compétitivité.

Partenaires du projet

- Derena Géosciences
- Les Solutions Geostack inc.

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Nahi Kandil](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

Objectifs

L'objectif principal est d'explorer de nouvelles façons d'utiliser la technologie de jumeau numérique ou Digital Twin (DT) et les Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS) pour révolutionner les systèmes de communication et de localisation dans les environnements souterrains.

Objectifs spécifiques :

1. Démontrer l'efficacité des jumeaux numériques (DT) pour prédire le comportement de la propagation du signal et anticiper les problèmes de connectivité et de localisation;
2. Utiliser les RIS pour contrôler et améliorer la propagation du signal dans l'environnement minier souterrain complexe, en vue d'améliorer la connectivité et les systèmes de localisation;
3. Utiliser la mine laboratoire comme représentation de conditions réelles pour valider le fonctionnement complet du système.

Résultats attendus

Création de technologies avancées, telles que le modèle Digital Twin (DT) et les Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS), spécifiquement adaptées aux mines souterraines.

Les technologies développées seront soumises à des tests rigoureux dans des conditions réelles pour s'assurer de leur efficacité dans l'environnement minier.

Retombées escomptées

1. Amélioration de l'efficacité opérationnelle et augmentation de la productivité;
2. Transition vers la mine 4.0 et au-delà, en conduisant à une gestion plus intelligente et proactive des données opérationnelles et à une efficacité globale améliorée de l'industrie minière;
3. Sécurité accrue des travailleurs, y compris une réduction des risques grâce à une communication et à une localisation améliorée;
4. Grâce au transfert technologique des innovations, telles que les DT et les RIS, possibilité pour le partenaire industriel d'offrir à ses clients dans le secteur minier des solutions d'avant-garde.

Partenaire du projet

- Meglab inc.

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Georgios Kolliopoulos](#), Université Laval

Objectifs

L'objectif général du projet de recherche proposé est unique et permettra d'améliorer la récupération du nickel à partir de ressources naturelles québécoises dans une approche écoresponsable en développant des connaissances théoriques et pratiques dans le domaine tout en collaborant étroitement avec l'industrie minière et en assurant la formation de personnel hautement qualifié (PHQ) pour l'industrie.

L'objectif général est composé des deux objectifs spécifiques suivants :

1. Concevoir un procédé de transformation des concentrés de nickel composé de pentlandite, de chalcopryrite, de pyrrhotite, de silice et de serpentine, fournis par Corem. Le procédé envisagé est basé sur l'utilisation et la minéralisation du CO₂, par des approches directes et indirectes. Le nickel sera d'abord extrait par un ligand approprié et une matrice de bicarbonate de sodium, puis récupéré ultérieurement, tandis que le fer sera précipité sous forme de carbonates;
2. Basé sur le climat froid du Québec et le concept d'utilisation et de stockage du CO₂, développer un procédé à la base des hydrates de CO₂ pour récupérer de l'eau propre des effluents hydrométallurgiques et des eaux usées industrielles pour les réutiliser dans les procédés, minimisant ainsi l'apport d'eau dans le domaine du traitement et de la transformation des ressources de nickel au Québec.

Résultats attendus

L'acceptabilité sociale des grands projets miniers d'extraction et de récupération des minéraux critiques et stratégiques (MCS) passe par le développement de technologies de transformation des concentrés durables qui réduisent la consommation d'eau et la contamination, c'est-à-dire les résidus liquides et les émissions de CO₂. La technologie hydrométallurgique avec zéro rejet liquide proposée est donc d'intérêt majeur, car elle offre une alternative verte aux procédés hydrométallurgiques conventionnels pour la transformation écoresponsable, circulaire et carboneutre des concentrés au Québec. Les résultats de ce projet de recherche permettront donc de développer des méthodes innovantes de transformation des concentrés plus efficaces et adaptées aux ressources naturelles et aux conditions climatiques québécoises.

Retombées escomptées

Ce projet permettra d'accroître l'acquisition de connaissances dans le domaine de la transformation zéro rejet des concentrés métalliques et des MCS et la rentabilité économique de tels projets, car les technologies proposées sont également applicables dans d'autres types de minéraux québécois.

Une fois le projet mené à terme, Corem sera en mesure d'optimiser les technologies, de les adapter au besoin de ses clients et partenaires et de les démontrer par des travaux pilotes. Ces technologies nous permettront d'appuyer le développement des nouveaux projets miniers tout en contribuant à l'atteinte des objectifs de carboneutralité.

Partenaire du projet

- Corem

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Georgios Kolliopoulos](#), Université Laval

Objectifs

L'objectif scientifique est d'approfondir les aspects chimiques fondamentaux de la dissolution et de la séparation sélective des MCS contenus dans des sources primaires et secondaires, tels que le nickel et le zinc, dans les solvants eutectiques profonds (SEP).

Les objectifs à court terme pour ce projet sont les suivants :

1. Évaluer le potentiel du traitement solvométallurgique et d'une série de SEP pour récupérer sélectivement les métaux ciblés qui sont nécessaires pour la filière des batteries à partir des ressources naturelles québécoises (concentré de sulfures de nickel) et des coproduits et résidus de batteries, miniers et industriels fournis par les partenaires de ce projet;
2. Développer des méthodes analytiques de pointe pour mesurer la concentration et la spéciation des métaux dissous dans les SEP;
3. Récupérer les métaux par électrolyse des SEP enrichis et étudier les propriétés des SEP conçus pendant les procédés de lixiviation et d'électrodéposition afin d'évaluer la réutilisabilité des SEP;
4. Étudier l'impact des impuretés et des éléments indésirables sur la sélectivité du procédé;
5. Concevoir un procédé solvométallurgique écologique durable à boucle fermée pour le recyclage de MCS provenant de batteries en fin de vie, de résidus miniers d'amiante au Québec.

Résultats attendus et retombées escomptées

Nous proposons de développer une compréhension fondamentale étoffée des interactions entre les SEP et les métaux de batteries qui nous permettra de développer à la fois le secteur solvométallurgique et la filière des batteries au Québec, de générer des impacts sociaux et environnementaux positifs ainsi que de guider l'élaboration de politiques vertes et intersectorielles sur la valorisation des MCS au Québec. Grâce au projet proposé, le Québec a l'occasion de devenir le leader dans les procédés innovants durables de traitement solvométallurgique et d'exporter une expertise sur la récupération et le recyclage zéro rejet des métaux de batteries.

Au cours des trois prochaines années, au moins cinq PHQ recevront une formation de pointe au sein de groupes de recherche de renommée internationale en plus de pouvoir interagir, à divers égards, avec les partenaires du projet. Les étudiants, ingénieurs et scientifiques seront formés sur le traitement émergent proposé, y compris sur la thermodynamique chimique, la théorie de lixiviation, la cinétique des réactions, la microscopie, la cristallographie et la conception et la modélisation des procédés. La recherche proposée se traduira, entre autres, par des PHQ dotés de compétences transférables en forte demande dans le domaine minier, ce qui les aidera à démarrer leur carrière scientifique, au profit du domaine minier et de la filière de batteries au Québec.

Partenaires du projet

- SGS Canada
- Magneto Investment
- ArcelorMittal Produits Longs
- Appel à recycler
- Exterra Carbon

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

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

Objectifs

Ce projet vise à optimiser le modèle d'application développé pour la technologie de fragmentation thermique et à arrimer les travaux en laboratoire avec des essais à plus grande échelle sur le terrain.

À cet effet, quatre objectifs spécifiques sont définis :

1. Optimisation du modèle à l'aide d'essais en laboratoire sur une plus grande variété de roches;
2. Réalisation d'essais à plus grande échelle en milieu simulé pour comparer leurs résultats avec ceux obtenus en laboratoire;
3. Réalisation d'essais in situ afin de valider le modèle;
4. Évaluation du bilan énergétique, économique et des émissions de gaz à effet de serre (GES) de la technologie, en comparaison avec les méthodes de minage traditionnelles.

Résultats attendus

Les travaux réalisés dans le cadre de ce projet permettront de générer cinq livrables :

1. Un rapport écrit faisant état des conditions opératoires optimales de la technologie de fragmentation thermique, selon le type de roche à fragmenter;
2. Un modèle optimisé d'application de la fragmentation thermique;
3. Un bilan énergétique, technico-économique et un bilan des GES de la technologie;
4. L'accumulation des connaissances et du champ d'application en vue d'un déploiement de la technologie à grande échelle;
5. La formation d'étudiants et d'étudiantes de niveau collégial. Ils et elles participeront aux différentes étapes du projet (manipulations, mise en place de dispositifs expérimentaux et collecte de données) pour les sensibiliser à la démarche scientifique et les préparer au marché du travail. Les étudiants et étudiantes seront à temps partiel pendant l'année scolaire (jusqu'à 15 heures par semaine) et à temps plein pendant les vacances d'été (jusqu'à 35 heures par semaine).

Retombées escomptées

Le Québec fait face à de nombreux enjeux liés aux impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales. Le minage sélectif par fragmentation thermique permettra potentiellement d'exploiter les ressources en diminuant les coûts d'extraction, en limitant la dilution de la ressource et en réduisant les besoins en concassage primaire. Ces avantages permettront de limiter l'usage de machinerie lourde et énergivore, de diminuer l'empreinte au sol des activités minières et ultimement de réduire les émissions de GES liées à l'exploitation des ressources. Ainsi, la technologie permettra de contribuer au maintien de l'approvisionnement en ressources minérales pour le Québec, le tout dans une perspective de développement durable.

Partenaire du projet

- G.E.T.T. Gold

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Les systèmes de communication sans fil avancés pour l'autonomisation des véhicules dans les mines souterraines

Chercheur responsable : [Mourad Nedil](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

Objectif

Le projet vise l'intégration de nouveaux systèmes d'antennes avancées combinées à l'autonomisation des robots mobiles pour une meilleure gestion de la productivité et de la sécurité dans les mines souterraines du Québec.

Le projet de recherche sera divisé en trois axes principaux :

- 1) A. Conception d'un système d'antennes Transmitarray reconfigurable programmable à ondes millimétriques pour les stations de base. B. Conception des antennes pour les robots mobiles;
- 2) Caractérisation et modélisation des canaux dynamiques (lien robot/station de base) à ondes millimétriques dans une mine souterraine;
- 3) Implémentation d'algorithmes avancés de navigation pour les robots mobiles autonomes miniers.

Résultats attendus

Un robot mobile (disponible à l'UQAT) sera utilisé pour les tests de navigation et de contrôle développés dans la mine souterraine (Cité de l'Or). Ainsi, les systèmes d'antennes développés seront utilisés pour communiquer à distance avec le robot, définir sa tâche et collecter des renseignements utiles pour le centre de contrôle en surface. Ce système de communication sans fil permettra de suivre les mouvements ou de modifier la trajectoire.

Retombées escomptées

L'utilisation de robots mobiles autonomes dans les mines souterraines peut avoir plusieurs retombées, telles que :

1. Sécurité : possibilité d'effectuer des tâches dangereuses et répétitives, réduisant ainsi le risque d'accidents et d'exposition des travailleurs dans un environnement potentiellement dangereux;
2. Efficacité : les robots autonomes peuvent fonctionner en continu sans nécessiter de pauses, ce qui peut améliorer l'efficacité opérationnelle et réduire les temps d'arrêt;
3. Surveillance : les robots peuvent être équipés de capteurs avancés pour surveiller en permanence l'état des équipements et de l'environnement, permettant une maintenance préventive et réduisant les risques de pannes imprévues.

Cette demande répond à un besoin réel exprimé par l'industrie, et une solution efficace permettra aux fournisseurs d'équipements de télécommunication québécois tels que Meglab de bénéficier d'une avance technologique indéniable sur leurs concurrents. Les progrès technologiques du projet seront considérables, et le partenaire industriel (Meglab) sera généralement en mesure d'utiliser le prototype sans beaucoup de travail d'adaptation avant d'en produire une version commercialisable.

Partenaires du projet

- Télébec, division de Bell et Meglab Électronique inc.

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Louis-César Pasquier](#), Institut national de la recherche scientifique

Objectif

L'objectif principal du projet est de développer un outil de caractérisation des haldes de résidus miniers amiantés. Cet outil permettra d'analyser les ressources contenues dans les résidus miniers et de réduire les impacts environnementaux de ceux-ci.

Pour ce faire, deux activités de recherche seront réalisées. La première consistera à mettre en place une campagne de terrain qui permettra une caractérisation approfondie d'une portion de différents sites d'étude par a) la mesure de la composition chimique des résidus et b) la collecte des mesures géophysiques associées. La deuxième activité s'intéressera au développement et à la validation d'un modèle géostatistique qui établira, à partir des résultats de la première activité, une prédiction de la composition basée sur les paramètres géophysiques uniquement.

Résultats attendus

Le principal livrable du projet sera le développement d'un outil permettant l'analyse directe de la composition des résidus miniers afin d'évaluer leur potentiel de valorisation.

L'outil aura été élaboré et calibré à partir de mesures réalisées sur différents sites miniers qui seront identifiés avec le partenaire. Cet outil prendra la forme d'un modèle de prédiction qui permettra de déterminer la variation de composition du matériel. L'élaboration d'un modèle géostatistique prédictif utilisant l'intelligence artificielle permettra par la suite d'établir rapidement la composition d'une halde appuyée par quelques mesures de contrôle réalisées sur le terrain. Au fur et à mesure, le modèle aura une meilleure efficacité et pourra ainsi être adapté à d'autres matériaux et résidus miniers en appui à des projets de valorisation.

Retombées escomptées

L'outil qui sera développé dans le projet aura des retombées directes pour le partenaire du projet, 3R Minéral. Il permettra d'augmenter le niveau de connaissances des résidus miniers amiantés sous la responsabilité de la compagnie et de mieux accompagner les projets de valorisation. L'intégration d'outils d'intelligence artificielle aura comme effet de permettre la diversification des applications.

Les retombées ne se limiteront pas qu'au partenaire. À plus long terme, il pourrait être envisagé d'embarquer les outils de mesure sur des robots ou même des drones pour atteindre des sites difficiles d'accès ou complexes. L'outil pourra donc, en plus d'accompagner la valorisation de résidus miniers amiantés, avoir des applications en restauration minière, notamment pour mesurer/identifier plus rapidement et efficacement des problématiques associées à des sites abandonnés (drainage minier, géotechnique, etc.). Quatre personnes hautement qualifiées (PHQ) acquerront des connaissances transversales en géosciences

Partenaire du projet

- 3R Minéral

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Chercheur responsable : [Jasmin Raymond](#), Institut national de la recherche scientifique

Objectif

L'objectif principal de cette étude est de construire un système géothermique pilote sur un site minier d'Abitibi et de l'opérer de façon expérimentale sur plusieurs semaines afin :

1. de démontrer en conditions réelles l'énergie thermique pouvant être extraite;
2. d'étudier les impacts géochimiques de l'eau sur l'opération du système lors des changements de température;
3. d'évaluer les applications possibles.

Ultimement, cela permettra de brosser un portrait technico-économique des systèmes géothermiques en tant qu'alternative durable aux besoins de chauffage des sites miniers en activité au Québec et des utilisateurs potentiels à proximité.

Résultats attendus

Au terme de ce projet, un examen des facteurs affectant l'opération d'un système géothermique pilote utilisant l'eau de dénoyage permettra d'identifier les configurations possibles de systèmes géothermiques pour toutes les mines actives et futures du Québec. De plus, différents scénarios de conception des systèmes géothermiques seront mis à l'essai lors du projet de démonstration de façon à proposer des améliorations technologiques.

Finalement, une évaluation du potentiel économique de l'énergie géothermique de l'eau de dénoyage des mines du Québec sera réalisée, ce qui permettra aux propriétaires des sites miniers d'offrir un argument concret à de potentiels utilisateurs qui sont à la recherche de technologies compétitives.

Retombées escomptées

Le projet permettra de démontrer l'efficacité d'avenues novatrices non seulement pour réaliser des économies d'énergie, mais également pour valoriser l'eau de dénoyage qui est considérée comme un passif environnemental. En effet, cette eau est généralement rejetée dans des bassins de décantation ou dans des plans d'eau sans être valorisée à son plein potentiel.

Si les travaux sont concluants, l'opérateur minier pourra déployer un système réel à plus grande échelle lui permettant de bonifier le potentiel dormant de cette eau souterraine. Le Québec entre dans une nouvelle époque où la forte demande en électricité pourrait limiter la croissance du secteur industriel incluant les mines. Toutes économies d'énergie réalisées en valorisant l'eau des sites miniers contribueraient à rendre disponible de l'électricité propre qui à son tour pourrait être utilisée pour l'expansion de projets miniers, bonifiant ainsi la valeur réelle des économies d'énergie.

Partenaires du projet

- Mines Agnico Eagle Itée
- Induktion
- Industries Blais

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Biosurveillance de la contamination métallique minière des écosystèmes aquatiques en intégrant des approches multidisciplinaires

Chercheur responsable : [Maikel Rosabal Rodriguez](#), Université du Québec à Montréal

Objectifs

Le projet de recherche s'articulera autour de trois volets spécifiques :

- Volet 1. Évaluation de biofilms et d'invertébrés comme biomoniteurs de la contamination métallique aquatique. Avec ces données, la capacité des biofilms et des invertébrés aquatiques à refléter la contamination métallique minière sera évaluée pour renforcer leur utilité en biosurveillance environnementale;
- Volet 2. Effets et potentiels biomarqueurs de la contamination métallique minière sur des poissons de différents niveaux trophiques. En travaillant avec différentes espèces de poissons de grand intérêt écologique, et couramment consommés par les communautés de la région, nous déterminerons le niveau de bioaccumulation, la spéciation de quelques éléments traces métalliques (ETM), l'organotrophisme, la distribution subcellulaire des ETM ainsi que l'identification de biomolécules ciblées de façon spécifique par les ETM causant des effets toxiques;
- Volet 3. Évaluation de l'exposition humaine aux ETM via la diète contaminée par des activités minières.

Résultats attendus

Ce projet fournira en premier lieu des informations environnementales spécifiques et détaillées sur plusieurs biomoniteurs favorisant le développement de stratégies de biosurveillance innovantes, non seulement applicables à la région de Rouyn-Noranda, mais aussi à l'ensemble des écosystèmes aquatiques du Québec. Ces données issues des approches multiéchelles (du niveau moléculaire à l'échelle de la population) et multidisciplinaires permettront au MELCCFP de mieux caractériser l'empreinte environnementale du secteur minier tout en intégrant la distribution, le comportement, la biodisponibilité, les effets et le potentiel de risque toxique de l'ensemble des ETM trouvés dans les milieux aquatiques affectés par l'industrie minière. Une fois ces outils de biosurveillance caractérisés et validés, la capacité du MELCCFP à protéger notre environnement sera encore plus renforcée et plus robuste.

Retombées escomptées

Nous visons un renforcement des outils de biosurveillance afin d'assurer une évaluation adéquate de l'empreinte environnementale du développement minier actuel et à venir sur les écosystèmes aquatiques et sur les communautés. Ces outils améliorés contribueront à faire une meilleure évaluation des effets des actions prises par le secteur minier sur l'environnement (p. ex. : recyclage et traitement des produits miniers, réaménagement de sites contaminés, contrôle des effluents, etc.).

Ces avancements en protection environnementale permettront à l'industrie minière de développer une image plus positive auprès de la société et, par conséquent, d'attirer de l'investissement dans l'industrie minière et d'expérimenter un recrutement significatif de personnes travaillant dans cette industrie.

Partenaire du projet

- Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP)

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

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

Objectifs

Le projet vise le développement de produits ou de processus innovateurs sur le plan énergétique et l'emploi de sources d'énergie alternatives dans un objectif de réduction des gaz à effet de serre (GES) par la décarbonation des mines et le rehaussement des infrastructures énergétiques.

Sous-objectifs :

- 1- Prolonger le développement et valider des solutions de gestion intelligente de l'énergie électrique, thermique, mécanique et chimique;
- 2- Prolonger le développement de solutions de stockage d'électricité à grande échelle : hydrogène vert et stations de transfert d'énergie par pompage;
- 3- Simuler le stockage de chaleur sensible et latente pouvant produire de l'électricité et de la chaleur et échanger une part de celle-ci avec le stockage de l'énergie par air comprimé;
- 4- Assurer la sécurité des approvisionnements en simulant des scénarios d'utilisation de l'ensemble charge/production/stockage;
- 5- Simuler l'adaptation de la production annuelle de l'entreprise à la variabilité des sources et aux capacités de stockage implantées en temps réel, en tenant compte de l'inertie du système. Maximiser la pénétration des énergies renouvelables dans les réseaux électriques et thermiques et pour les équipements;
- 6- Arrimer l'offre et la demande énergétiques en une solution à moindre coût, permettant de s'adapter à plusieurs situations géographiques, à une interconnexion au réseau d'Hydro-Québec ou non, et à diverses activités minières.

Résultats attendus

À terme, les travaux préalables et ceux visés par cette demande auront renforcé et complété le développement d'une expertise forte dans la simulation numérique des systèmes énergétiques décarbonés hybrides et intelligents pour des installations de très grande taille. En outre, les premiers projets réalisés ont permis la formation de plus de 60 personnes hautement qualifiées (PHQ), l'établissement d'un réseau de partenaires, l'installation d'éoliennes et de centrales solaires dans des lieux isolés et, ultimement, une réduction de l'impact écologique de l'emploi de diesel (plus de 30 millions de litres par an de réduction à ce jour pour les partenaires actuels).

Retombées escomptées

Pour l'ensemble des activités minières du Québec, ce sont au moins 10 fois plus de retombées qui sont visées par ce projet en termes de réduction d'émissions de gaz à effet de serre (GES). Pour la seule mine Raglan, les retombées environnementales sont 5 fois supérieures à l'ensemble du potentiel des projets précédents. Le projet a un impact sur l'excellence en économie verte et responsable, agit en faveur de la nature et accélère la transition vers une mobilité durable, entre autres.

Partenaire du projet

- Hatch & Associés inc.

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

Développement d'une approche de prévision des phénomènes de coup de terrain à proximité des grandes structures géologiques dans les roches métamorphiques

Chercheur responsable : [Ali Saeidi](#), Université du Québec à Chicoutimi

Objectifs

Les objectifs généraux de ce projet se subdivisent en différents objectifs spécifiques comme suit :

1. Évaluer la particularité sismique des différentes zones;
2. Évaluer les paramètres caractéristiques des événements sismiques pour identifier un ou plusieurs paramètres précurseurs des événements sismiques, notamment ceux associés aux coups de terrain;
3. Développer une méthode d'estimation de la contrainte induite par l'exploitation minière;
4. Évaluer l'applicabilité des méthodes de prédiction des coups de terrain dans le contexte de la mine Westwood;
5. Évaluer la corrélation entre l'augmentation de la contrainte, la qualité du massif rocheux et la déformation du massif rocheux, et développer un modèle de prévision des coups de terrain et du potentiel d'endommagement des excavations;
6. Développer un modèle 3D de susceptibilité des coups du terrain pour la mine Westwood.

Résultats attendus

Dans un premier temps, ce projet développera une approche de prévision des coups de terrain pour les roches métamorphiques. Dans un second temps, il mènera à la mise en place d'un modèle 3D de potentiel sismique (ou d'un modèle de risque sismique) de la mine Westwood. Ce modèle sera d'une grande utilité pour prédire le risque de phénomène de coup de terrain pour différentes unités géologiques.

Retombées escomptées

Ce projet aura un impact significatif sur les activités de la mine Westwood, permettant notamment de caractériser les zones à risque, fournissant des indications pour la planification des excavations et des soutènements. Il contribuera au développement d'une méthode de prévision des coups de terrain, renforçant ainsi la sécurité et favorisant la croissance économique de l'exploitation.

Au-delà de la mine Westwood, la plupart des mines souterraines au Québec et au Canada pourront bénéficier des résultats de cette recherche. Cela sera particulièrement vrai pour les mines dont les chantiers seront à des profondeurs plus importantes dans des roches métamorphiques. En effet, toutes les nouvelles connaissances relatives au comportement des massifs rocheux, aux paramètres géomécaniques et à leurs impacts sur le phénomène des coups de terrain sont d'une importance capitale pour l'industrie minière. Il est également important de souligner que des opérations minières telles que celle de Westwood ont un effet structurant majeur sur l'économie ainsi que sur la recherche industrielle. Le projet actuel s'inscrit donc dans une démarche de recherche visant à améliorer les performances de cette industrie et, par extension, à maintenir son impact structurel sur l'économie et la recherche et développement dans la région, au Québec et au Canada.

Partenaire du projet

- Iamgold - Mine Westwood

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 304 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.

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

Objectifs

Un inconvénient notable de la congélation par pulvérisation pour le chauffage est que le comportement de surfusion pendant la solidification peut réduire le taux de transfert de chaleur entre les gouttelettes d'eau et l'air froid, ce qui affaiblit les performances de chauffage. Il est donc essentiel de trouver des solutions pour supprimer le degré de surfusion. L'objectif principal de ce projet est de développer une nouvelle technologie de congélation par pulvérisation, capable de répondre aux besoins de chauffage et de refroidissement des mines dans le nord du Canada grâce à une approche durable.

Les sous-objectifs de la recherche sont les suivants :

1. Établir un cadre thermo-hydraulique entièrement couplé pour la congélation par pulvérisation, capable de prédire la solidification des gouttelettes à plusieurs échelles avec une trajectoire dynamique des gouttelettes ainsi que les interactions air-gouttelettes et gouttelettes-gouttelettes;
2. Développer des stratégies efficaces et pratiques pour réduire le degré de surfusion par l'ajout d'agents de nucléation, ce qui accélère le mécanisme de nucléation hétérogène pendant le processus de congélation;
3. Intégrer le modèle de congélation par pulvérisation nouvellement développé dans les systèmes de ventilation, de chauffage et de refroidissement des mines en temps réel, qui peuvent être facilement utilisés par les ingénieurs des mines travaillant sur le terrain.

Résultats attendus

Les résultats attendus de ce projet contribueront à la fois à l'avancement des connaissances scientifiques et au développement de nouvelles technologies pour des applications industrielles. Ce projet générera de nouvelles connaissances et une meilleure compréhension de la technologie de congélation par pulvérisation pour le chauffage et le refroidissement des mines. À notre connaissance, les objectifs décrits représentent une première dans la modélisation à si haute résolution et prenant en compte la multiphysique dans le domaine de la ventilation minière.

Retombées escomptées

Les résultats attendus de cette recherche profiteront à l'industrie minière au Québec, au Canada et dans le monde entier. De nombreuses mines souterraines prévoient des opérations d'exploitation en profondeur au cours des cinq à dix prochaines années. Cela nécessitera des outils pour reconfigurer et réorganiser leurs systèmes de ventilation, en particulier pour résoudre les problèmes de coup de chaleur. Les modèles proposés pourraient s'avérer précieux pour ces entreprises en tant qu'utilisateurs finaux, en les aidant à concevoir et à adapter leurs systèmes de ventilation, y compris le chauffage et le refroidissement, afin d'obtenir des performances optimales en termes d'économies d'énergie et de coûts.

Partenaire du projet

- Glaciers Technologies

Durée du projet : 3 ans

Subvention accordée pour ce projet : 381 000 \$

Pour plus d'informations, contactez le chercheur responsable.