

# **Programme 2019-2022 de recherche en partenariat sur le développement durable du secteur minier**

## **Résumés des demandes d'aide financière qui ont été acceptées**

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 : L'exploration et l'exploitation minière en profondeur

Axe 2 : Le développement du secteur minier en milieu nordique

Axe 3 : L'économie d'énergie et les gaz à effet de serre

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

Axe 5 : Le développement et l'optimisation des outils géoscientifiques et géomatiques

Axe 6 : La vision prospective du développement minier

Axe 7 : La recherche sur les minéraux critiques et stratégiques

## **Dates prévues de la publication des rapports finaux par le FRQNT**

Appels de propositions	Annonces des financements	Dates probables de dépôt au FRQNT des rapports finaux
2019 : 13 juin 2019	Septembre 2020	Mars 2024
2020 : 18 juin 2020	Mai 2021	Décembre 2024
2021 : 13 juin 2021	Juin 2022	Décembre 2025
2021-MCS : 2 mars 2021	Décembre 2021	Juin 2025
2022-MCS : 2 février 2022	Février 2023	Août 2026

## **Note importante**

Considérant les modifications des noms des deux ministères MERN et MELCC à la suite de l'élection d'un nouveau gouvernement en octobre 2022 :

- Dans ce document, le ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) remplace le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) et
- Le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les Changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) remplace le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques (MELCC).

**Tableau des demandes d'aide financière acceptées — Page 1**

Appels de propositions	Responsables	Organismes de recherche	Titres des projets	Axes de recherche	Partenaires	Subventions
2019	Bazin, Claude	Laval	<a href="#">Utilisation de la simulation des procédés minéralurgiques comme outil de support pour la géoméallurgie : Application à l'exploitation du minerai de la mine de fer de la compagnie Minerai de fer du Québec</a>	5	Minerai de fer Québec (MFQ)	152 400 \$
2019	Beaudoin, Georges	Laval	<a href="#">Reconnaissance automatisée des minéraux indicateurs par micro-XRF</a>	5	Mines Agnico Eagle Itée, MRNF	381 000 \$
2019	Bédard, Paul	UQAC	<a href="#">Reconnaissance optique automatisée des minéraux par apprentissage automatisé (intelligence artificielle)</a>	5	IOS Services Geoscientifiques	381 000 \$
2020	Belem, Tikou	UQAT	<a href="#">Étude de l'impact de la minéralogie (présence de phyllosilicates) sur les risques opérationnels associés à la gestion des résidus miniers incorporant du ciment</a>	4	Agnico-Eagle, Iamgold	381 000 \$
2021-MCS	Bouchard, Jocelyn	Laval	<a href="#">Minimisation des risques associés à la production de graphite de grade batterie Lithium-ion</a>	7-MCS	Nouveau Monde Graphite	381 000 \$
2020	Boulangier, Jean-François	UQAT	<a href="#">Recyclage de réactifs en hydrométallurgie : étude du cas de la soude caustique (NaOH) dans la purification du graphite.</a>	4	Mason Graphite, Sefar BDH	338 519 \$
2019	Bussière, Bruno	UQAT	<a href="#">Comportement hydrogéotechnique de parcs à résidus miniers filtrés en conditions nordiques</a>	2	Mines Agnico Eagle Itée, Mine Raglan	381 000 \$
2020	Bussière, Bruno	UQAT	<a href="#">Performance des systèmes de recouvrement avec géomembrane pour contrôler la contamination provenant de parcs à résidus miniers</a>	4	Agnico-Eagle, Mine Éléonore, Mine Raglan	381 000 \$

**Tableau des demandes d'aide financière acceptées — Page 2**

Appels de propositions	Responsables	Organismes de recherche	Titres des projets	Axes de recherche	Partenaires	Subventions
2021	Cheng, Li Zhen	UQAT	<a href="#">Cartographie de la géologie et surveillance des risques de radiation par l'amélioration de la qualité et l'interprétabilité des données spectrométriques</a>	5	MRNF (DGGQ)	381 000 \$
2019	Cloutier, Vincent	UQAT	<a href="#">Quantification des flux diffus de contaminants : approche multi-méthodes pour optimiser la gestion environnementale des sites miniers</a>	4	(1) Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT), (2) École de technologie supérieure (ETS), (3) Institut national de la recherche scientifique (INRS), (4) Université du Québec à Montréal (UQAM), (5) Fonderie Horne	381 000 \$
2020	Conciatori, David	Laval	<a href="#">Valorisation des déchets miniers avec ajout cimentaire contenant des brasques traitées</a>	3	Ciment Québec, Rio Tinto Alcan	381 000 \$

**Tableau des demandes d'aide financière acceptées— Page 3**

Appels de propositions	Responsables	Organismes de recherche	Titres des projets	Axes de recherche	Partenaires	Subventions
2022-MCS	Constantin, Marc	Laval	<a href="#">Développement de méthodes de mesures sur le terrain et au laboratoire par la spectroscopie laser plasma (LIBS) : application au lithium et à d'autres métaux critiques et stratégiques.</a>	7-MCS	Corem- Elemission inc. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) Nemaska Lithium inc. Sayona Québec	381 000 \$
2021	Coudert, Lucie	UQAT	<a href="#">Extraction responsable et valorisation des minéraux critiques et stratégiques issus de la filière fer-titane au Québec</a>	6	Canmet, Rio Tinto	381 000 \$
2021	De Souza, Stéphane	UQAM	<a href="#">Les utilisations multiples du mercure naturel archéen : sources, guides, impacts</a>	1	Agnico, Vior, Minière 03	381 000 \$
2021	Demers, Isabelle	UQAT	<a href="#">Évolution biogéochimique des scénarios de gestion et de restauration impliquant des rejets miniers désulfurés</a>	4	Iamgold, Newmont (Eleonore)	285 750 \$
2022-MCS	Demers, Isabelle	UQAT	<a href="#">Valorisation de la dolomite dans la gestion des résidus d'une mine de graphite</a>	7-MCS	Focus Graphite inc.	381 000 \$
2020	DesRochers, Annie	UQAT	<a href="#">Renaturalisation du paysage local</a>	4	Fonderie Horne	379 889 \$
2019	Dupuis, Christian	Laval	<a href="#">L'imagerie sismique; un outil pour réduire les risques d'exploration et d'exploitation en profondeur</a>	1	WSP Canada inc.	364 490 \$

**Tableau des demandes d'aide financière acceptées — Page 4**

Appels de propositions	Responsables	Organismes de recherche	Titres des projets	Axes de recherche	Partenaires	Subventions
2019	Fabien-Ouellet, Gabriel	Polytechnique	<a href="#">Optimisation de l'imagerie sismique en onde complète pour l'exploration minière</a>	1	(1) Canadian Royalties, (2) Mineral Exploration Research Centre (Université Laurentienne), (3) Géophysique GPR International	381 000 \$
2021	Fenton, Nicole	UQAT	<a href="#">Écosystèmes et paysages de références pour la restauration des crêtes rocheuses dénudées autour de la ville de Rouyn-Noranda</a>	4	Glencore (Horne)	381 000 \$
2020	Fortin, Claude	INRS	<a href="#">La microflore et la microfaune benthiques comme indicateurs d'apports en nitrates et en métaux</a>	4	Corem, MELCCFP	381 000 \$
2021-MCS	Fortin, Claude	INRS	<a href="#">Caractérisation du risque écotoxicologique du platine et du palladium au Québec</a>	7-MCS	MELCCFP	381 000 \$
2019	Gamache, Michel	Polytechnique	<a href="#">Analyse des données pour la maintenance préventive et prédictive des équipements miniers</a>	6	Groupe MISA et Newtrax	377 190 \$
2019	Gamache, Michel	Polytechnique	<a href="#">Optimisation des opérations minières en temps réel</a>	6	Groupe MISA	381 000 \$
2020	Gambou-Bosca, Axel	Cégep de Trois-Rivières	<a href="#">Développement d'un outil prédictif par apprentissage automatique de la dégradation par corrosion d'un pipeline</a>	4	Agnico-Eagle	160 625 \$
2020	Gendron, Corinne	UQAM	<a href="#">Quelle acceptabilité sociale pour les projets miniers de la transition énergétique? L'influence de l'usage, de la culture et des valeurs collectives sur le développement minéral au Québec</a>	4	AMQ, AEMQ, Cree Exploration	254 000 \$
2019	Giroux, Bernard	INRS	<a href="#">Détection de la sismicité induite par l'activité minière par apprentissage profond</a>	5	ESG Solutions	285 369 \$

**Tableau des demandes d'aide financière acceptées — Page 5**

Appels de propositions	Responsables	Organismes de recherche	Titres des projets	Axes de recherche	Partenaires	Subventions
2020	Gloaguen, Erwan	INRS	<a href="#">Géologie prédictive par apprentissage machine non supervisé de données aéroportées et satellitaires</a>	5	SRK Consulting, Osisko Development, Mira Geoscience, Solutions Geolearn	379 095 \$
2019	Grenon, Martin	Laval	<a href="#">Stabilité des excavations minières souterraines en milieu arctique par la modélisation des réseaux de fractures (DFN) : caractérisation, modélisation et conception</a>	6	Mine Raglan	381 000 \$
2021	Grenon, Martin	Laval	<a href="#">Conception intégrée des pentes minières (banc et inter-rampe) sur la base de données LiDAR</a>	6	Minerai de fer du Québec	381 000 \$
2020	Guay, Katline	Cégep de Thetford	<a href="#">Mise au point de différents protocoles d'essais cinétiques sur le terrain pour la prédiction de la qualité du drainage des stériles et des résidus miniers</a>	4	Mine Troilus	299 562 \$
2020	Guillemette, Carl	Laval	<a href="#">Influence des structures héritées sur l'architecture orogénique et la distribution des ressources minérales</a>	5	MRNF (DGGQ)	381 000 \$
2020	Horchani, Habib	Cégep de Rivière-du-Loup	<a href="#">Développement d'un bioprocédé innovant pour le traitement des eaux de drainage des tourbières pour réduire la nuisance environnementale</a>	4	Association de la tourbe	300 000 \$
2020	Ilinca, Adrian	UQAR	<a href="#">Optimisation de la production électrique sur les sites miniers par hybridation pneumatique des génératrices diesel</a>	3	Agnico-Eagle	381 000 \$
2021	Kemache, Nassima	Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue	<a href="#">Potentiel des hautes puissances pulsées et des micro-ondes sur l'amélioration de l'empreinte environnementale de l'extraction de magnésium à partir de la dolomite</a>	3	Dolomite internationale	300 000 \$

**Tableau des demandes d'aide financière acceptées — Page 6**

Appels de propositions	Responsables	Organismes de recherche	Titres des projets	Axes de recherche	Partenaires	Subventions
2019	Khasa, Damase	Laval	<a href="#">Bioremédiation par filtration phytobienne du site minier Aldermac à drainage minier acide en Abitibi-Témiscamingue</a>	4	MRNF	381 000 \$
2021	Khasa, Damase	Laval	<a href="#">Utilisation de bio-intrants en restauration écologique des sites miniers ferrifères : essais de démonstration en milieu nordique québécois au Canada</a>	2	MELCCFP, Minerai de fer du Québec, Viridis, T2 Environnement, Tata Steel	381 000 \$
2021	Khasa, Damase	Laval	<a href="#">Sélection des espèces ligneuses boréales à architecture racinaire traçante pour végétaliser et assurer la durabilité des recouvrements étanches de géomembranes des sites à drainage minier acide</a>	4	MELCCFP, MRNF, Viridis	381 000 \$
2021-MCS	Larivière, Dominic	Laval	<a href="#">Pour une meilleure compréhension de la radioactivité et de sa perception dans le contexte d'exploitation des ETR</a>	7-MCS	Torngat Metals ltd (33000)	381 000 \$
2019	Maqoud, Abdelkabir	UQAT	<a href="#">Valorisation des matériaux argileux et leur intégration comme matériaux de construction dans les ouvrages miniers</a>	4	Fonderie Horne	265 176 \$
2020	Maqoud, Abdelkabir	UQAT	<a href="#">Évaluation de scénarios durables pour la remise en état de sites d'entreposage de rejets métallurgiques ainsi que leur valorisation</a>	4	Fonderie Horne	381 000 \$
2020	Molson, John	Laval	<a href="#">Réduction de l'empreinte environnementale des sites miniers par l'amélioration et l'adaptation des approches de modélisation hydrogéologique : cas du site minier St-Lawrence Columbiun</a>	4	WSP Canada	228 600 \$
2020	Morissette, Philippe	Laval	<a href="#">Contribution à la compréhension, à la quantification, et au suivi de l'aléa sismique dans les mines souterraines profondes</a>	1	Agnico-Eagle	364 922 \$

**Tableau des demandes d'aide financière acceptées — Page 7**

Appels de propositions	Responsables	Organismes de recherche	Titres des projets	Axes de recherche	Partenaires	Subventions
2021	Mulligan, Catherine	Concordia	<a href="#">Application de l'efficacité eau-énergie dans l'industrie minière</a>	4	Agnico, BioCAST	381 000 \$
2021	Nedil, Mourad	UQAT	<a href="#">Système corporel intelligent d'antenne pour les mines souterraines profondes</a>	1	Meglab, Télébec	381 000 \$
2019	Ovalle Ortega, Carlos	Polytechnique	<a href="#">Développement de critères hydrogéotechniques et opérationnels pour améliorer la stabilité à long terme des haldes de roches stériles et des ouvrages miniers mettant en valeur les stériles</a>	4	(1) Rio Tinto Fer et Titane, (2) Iamgold, (3) Mine Canadian Malartic, (4) Mines Agnico Eagle Itée	381 000 \$
2019	Pabst, Thomas	Polytechnique	<a href="#">Gestion et restauration progressive des aires d'entreposage de résidus miniers filtrés générateurs de drainage minier acide</a>	4	(1) Mines Agnico Eagle Itée, (2) Mine Raglan, (3) Iamgold, (4) Mine Canadian Malartic, (5) Newmont Goldcorp	381 000 \$
2021	Pasquier, Louis-César	INRS	<a href="#">Accompagner la transition écologique par la valorisation de résidus miniers</a>	3	Sigma Devtech	381 000 \$
2020	Plante, Benoît	UQAT	<a href="#">Restauration des parcs à rejets de concentrateur générateurs de DMA préalablement oxydés</a>	4	Agnico-Eagle, MRNF (DGGMM)	380 561 \$

**Tableau des demandes d'aide financière acceptées — Page 8**

Appels de propositions	Responsables	Organismes de recherche	Titres des projets	Axes de recherche	Partenaires	Subventions
2019	Rahaman, Saifur	Concordia	<a href="#">Couplage d'un procédé électrochimique et de la distillation membranaire pour la production d'eau recyclable de haute qualité à partir d'eaux usées minières</a>	4	SNC-Lavalin	381 000 \$
2020	Raymond, Jasmin	INRS	<a href="#">L'énergie géothermique : une deuxième vie pour les mines</a>	4	Société Asbestos, Hatch Engineering	381 000 \$
2021	Richer-Lafèche, Marc	INRS	<a href="#">Optimisation de la détection de gîtes de sulfures disséminés et massifs profonds par électromagnétisme de haute puissance et séparation des composantes inductives et de polarisation induite</a>	1	Falco	381 000 \$
2019	Rocheffort, Line	Laval	<a href="#">Mise en végétation écologique des sites miniers recouverts d'un matériau granulaire : Développement d'une méthode efficace et peu coûteuse</a>	4	WSP Canada inc., MRNF	343 224 \$
2020	Rottier, Bertrand	Laval	<a href="#">Développement de vecteurs des zones minéralisées des gisements d'or orogénique basés sur la chimie et la texture du quartz et de la tourmaline.</a>	1	Eldorado, Yorbeau	381 000 \$
2021-MCS	Rottier, Bertrand	Laval	<a href="#">Approches géologique et géophysique intégrées pour l'amélioration de l'exploration des gisements d'ETR dans le Grenville central</a>	7-MCS	DGGQ-MRNF (45000)	381 000 \$
2022-MCS	Rottier, Bertrand	Laval	<a href="#">Traçage des processus géologiques contrôlant la formation des gisements de graphite de haute qualité dans la Province de Grenville du centre et de l'ouest du Québec</a>	7-MCS	Lomiko Metals inc., MRNF, Nouveau Monde Graphite inc.	381 000 \$

**Tableau des demandes d'aide financière acceptées — Page 9**

Appels de propositions	Responsables	Organismes de recherche	Titres des projets	Axes de recherche	Partenaires	Subventions
2022-MCS	Roué, Lionel	INRS	<a href="#">Vers la production de graphite québécois de haute qualité et à faible incidence environnementale pour la filière des batteries Li-ion</a>	7-MCS	Nouveau Monde Graphite inc.	381 000 \$
2021	Rousse, Daniel	ETS	<a href="#">Décarbonation des entreprises minières du Québec</a>	3	MISA, Hatch, Glencore (Raglan)	381 000 \$
2019	Roy, Sébastien	Sherbrooke	<a href="#">Développement d'une approche intégrative de restauration minière valorisant le patrimoine vivant du territoire Eeyou Istchee</a>	4	Nemaska Lithium	381 000 \$
2020	Roy, Sébastien	Sherbrooke	<a href="#">Étude des végétaux rustiques de la Fosse du Labrador pour adresser l'érosion éolienne et établir un couvert végétal sur les parcs à résidus nordiques</a>	4	ArcelorMittal, MRNF (DGGMM)	381 000 \$
2019	Sasmito, Agus	McGill	<a href="#">La congélation des sols basée sur les énergies renouvelables comme solution d'adaptation pour une exploitation minière durable dans le Nord sous un climat changeant</a>	2	ArcelorMittal et Université de Sherbrooke	381 000 \$
2021	Soucy, Gervais	Sherbrooke	<a href="#">Valorisation d'un concentré de titanomagnétite vanadifère par voie hydrométallurgique</a>	6	Vanadium Corp	381 000 \$
2022-MCS	Soucy, Gervais	Sherbrooke	<a href="#">Technologie avancée de purification de graphite naturel</a>	7-MCS	Nouveau Monde Graphite inc.	381 000 \$
2020	Stevenson, Ross	UQAM	<a href="#">Approche innovatrice par rapport aux veines de quartz-carbonate associés avec les gisements de l'or orogéniques dans la région de Val-d'Or</a>	5	MRNF (DGGQ)	207 010 \$
2019	Veilleux, Jocelyn	Sherbrooke	<a href="#">Valorisation d'un broyat noir (<i>black mass</i>) pour en extraire les métaux de valeur (Li, Ni, Co, Mn, Al) et fabriquer de nouveaux matériaux de cathode</a>	6	Nemaska Lithium	381 000 \$

**Tableau des demandes d'aide financière acceptées — Page 10**

Appels de propositions	Responsables	Organismes de recherche	Titres des projets	Axes de recherche	Partenaires	Subventions
2021-MCS	Williams-Jones, Anthony Eric	McGill	<a href="#">La genèse et l'exploration de la minéralisation d'oxyde de fer-apatite ETR dans le district de Kwijibo, Québec</a>	7-MCS	SOQUEM inc.	381 000 \$
2019	Yniesta, Samuel	Polytechnique	<a href="#">Nouvelles approches d'évaluation et de réduction des risques géotechniques pour les résidus miniers réactifs entreposés en surface</a>	4	Canadian Malartic et Mines Agnico Eagle ltée	313 690 \$
Total 2019-2022 (67 projets)						23 887 072 \$

**RÉSUMÉS DES DEMANDES D'AIDE FINANCIÈRE ACCEPTÉES**  
**Par ordre alphabétique des noms des chercheurs**

**Utilisation de la simulation des procédés minéralurgiques comme outil de support pour la géométabllurgie : Application à l'exploitation du minerai de la mine de fer de la compagnie Minerai de fer du Québec**

**Chercheur responsable :** [Claude Bazin](#), Université Laval

**Objectif**

Le projet proposé vise à mettre au point un outil qui permettrait aux ingénieurs de l'usine de la compagnie Minerai de fer Québec (MFQ) de prédire les performances du concentrateur, à partir de données géologiques, et ainsi d'anticiper la réponse du procédé à un minerai donné pour décider de la meilleure stratégie à utiliser pour maximiser la mise en valeur du minerai exploité.

**Résultats attendus et retombées escomptées**

Le projet permettra :

- de mettre au point une approche novatrice en géométabllurgie permettant de combiner l'information géologique et la simulation mathématique d'unités de concentration gravimétrique;
- de consolider une expertise dans le domaine de la simulation des spirales de concentration gravimétrique, expertise acquise dans le cadre d'un précédent projet et dont les résultats ont été présentés à la conférence de l'ICM à Montréal en 2019 et ont suscité l'intérêt de MFQ pour le projet proposé;
- de finaliser et d'appliquer les travaux effectués pour modéliser des classificateurs hydrauliques, travaux qui demeurent en attente d'une application pratique, comme celle offerte par le projet proposé.

Les ingénieurs du concentrateur de MFQ pourront tout aussi bien utiliser le simulateur pour des applications en géométabllurgie que pour étudier des stratégies d'opération qui pourraient à moyen terme permettre d'augmenter la récupération des minéraux de fer en conservant la qualité du concentré final, c.-à-d. dont la teneur en fer serait supérieure à 66 % Fe.

**Partenaires du projet**

- Minerai de fer Québec

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 152 400 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Georges Beaudoin](#), Université Laval

### **Objectif**

L'objectif du projet proposé est de mettre au point une méthode analytique utilisant un micro-XRF, un appareil de fluorescence-X avec une grande résolution spatiale ( $> 20 \mu\text{m}$ ), pour mesurer la composition chimique de grains minéraux extraits de sédiments meubles, échantillonnés dans des environnements glaciaires, fluviaux ou éoliens. La composition chimique des grains de minéraux permettra ensuite d'identifier le minéral et d'utiliser des diagrammes discriminants pour estimer la nature de la roche source et son potentiel à contenir de la minéralisation.

Les objectifs particuliers sont :

- Mettre au point un support pour fixer, puis analyser et archiver les minéraux indicateurs;
- Mettre au point un protocole analytique optimisé pour mesurer la composition chimique des grains de minéraux indicateurs;
- Développer une méthodologie pour identifier les minéraux indicateurs sans préconcentration;
- Développer une méthodologie automatisée pour identifier les minéraux, quantifier les proportions minérales, la forme et la taille des grains.

### **Résultats attendus**

Méthodologie pour la préparation d'échantillons pour analyse par micro-XRF.

- Protocole analytique optimisé pour l'analyse de la composition chimique des minéraux indicateurs par micro-XRF.
- Méthodologie automatisée pour identifier les minéraux, quantifier les proportions minérales, la forme et la taille des grains.

### **Retombées escomptées**

Une nouvelle méthodologie automatisée pour identifier les minéraux indicateurs par micro-XRF, et pour quantifier les proportions modales, la forme et la taille des grains. Cette nouvelle méthodologie offrira un avantage compétitif à l'industrie des ressources minérales du Québec, favorisera l'émergence ou renforcera l'expertise de sociétés de services utiles à l'industrie minière et aux agences gouvernementales.

### **Partenaires du projet**

- Mines Agnico-Eagle Ltée
- Bureau de la connaissance géoscientifique du Québec, 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.**

**Reconnaissance optique automatisée des minéraux par apprentissage automatisé  
(intelligence artificielle)**

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

**Objectif**

Au cours d'un projet précédent, l'équipe du professeur Bédard a développé un algorithme permettant la reconnaissance optique d'une gamme restreinte de minéraux en grains et de l'or. Cependant, différentes difficultés techniques, notamment en regard du nombre d'exemples requis pour l'apprentissage automatisé et la réalisation du référentiel ne permettent pas de maximiser le plein potentiel de l'outil développé. Les objectifs pour le présent projet sont donc :

- 1) De constituer un catalogue d'images d'espèces minérales adéquat pour l'apprentissage :
  - a) développer une procédure robuste d'acquisition d'images,
  - b) développer une procédure d'acquisition des référentiels pour classer correctement les minéraux requis pour l'apprentissage,
  - c) constituer un catalogue de photomicrographies correctement identifiées selon leur espèce,
  - d) explorer les éclairages polarisés, filtrés, UV, cathodoluminescence, etc., pour la prise de photomicrographies pour augmenter la discrimination des données d'apprentissage;
- 2) D'améliorer les algorithmes d'apprentissage automatique :
  - a) créer des algorithmes de filtrage des données d'entraînement de mauvaise qualité,
  - b) tester les différentes opérations numériques permettant le rehaussement d'images ou de transformation de l'univers de référence,
  - c) entraîner et tester les modèles de réseaux de neurones profonds les plus récents et les plus performants de la littérature;
- 3) De faire évoluer l'algorithme de reconnaissance optique des minéraux en un logiciel convivial :
  - a) adapter l'algorithme de reconnaissance à la capture optique des minéraux,
  - b) améliorer itérativement la banque de données d'entraînement par apprentissage actif.

**Résultats attendus**

Un logiciel qui est capable de reconnaître de nombreux minéraux en grains ou broyés et, ultimement, les minéraux inclus dans les roches.

**Retombées escomptées**

Une méthodologie qui permettra de reconnaître, à faible coût et rapidement, les minéraux en grains. On pourrait envisager d'analyser avec cette méthode les sédiments glaciaires déjà prélevés par le ministère des Ressources naturelles et des Forêts, et même que les géologues effectuant la cartographie pourraient, à partir d'une photo sur leur tablette de terrain, obtenir les suggestions de classification.

**Partenaire du projet**

- IOS Services Géoscientifiques

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Tikou Belem](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

### **Objectif**

L'objectif principal de ce projet consiste à chercher les moyens d'atténuation des risques opérationnels associés à la gestion des résidus miniers phyllosilicatés (p. ex., muscovite, chlorites, biotites et lizardite) cimentés (RPC et RMD-SS). L'originalité de ce projet réside dans le fait qu'il traite de l'influence des phyllosilicates sur les performances géotechniques des RPC et des RMD-SS qui est encore très mal connue.

Il vise ainsi l'acquisition de nouvelles connaissances scientifiques et techniques sur les interactions entre ces phyllosilicates et les matrices cimentaires des RPC et des RMD-SS qui permettront de mieux les gérer sous terre et en surface en milieu nordique. L'atteinte de cet objectif passe par la réalisation de **quatre objectifs précis** (OP), à savoir :

- **OP1** : étudier les interactions entre les phyllosilicates et l'agent cimentaire ainsi que le phénomène d'absorption/rétention d'eau durant le processus de mélange et de durcissement des RPC et RMD-SS;
- **OP2** : étudier l'effet des phyllosilicates sur les propriétés de transport et d'écoulement (rhéologie) des mélanges de RPC et de RMD-SS;
- **OP3** : évaluer les propriétés hydrogéologiques et les stabilités physique et chimique des RMD-SS en conditions climatiques naturelles (échanges sol-atmosphère et cycles de gel-dégel);
- **OP4** : évaluer l'effet des phyllosilicates sur la performance mécanique de différentes formulations de mélanges de RPC à différentes échelles et analyser les conséquences sur les frais d'exploitation.

### **Résultats attendus et retombées escomptées**

Les résultats de ce projet apporteront des connaissances nouvelles sur les mécanismes d'interaction entre les minéraux phyllosilicatés et les matrices cimentaires conçues à base de résidus miniers et d'agent cimentaire (RPC et RMD-SS).

Les abaques qui seront élaborés à la suite de ce projet aideront l'industrie minière à concevoir, à planifier et à gérer adéquatement les opérations de remblayage (RPC) ou d'entreposage en surface (RMD-SS) dans un environnement nordique. Cela entraînera également une réduction des frais d'exploitation. Ces résultats seront accessibles aux consultants des firmes de génie-conseil et aux ministères responsables de l'encadrement des activités minières.

### **Partenaires du projet**

- Mines Agnico-Eagle, divisions LaRonde et LZ5
- Iamgold Corporation, mine Westwood

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

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

### **Objectif**

La programmation de recherche proposée aspire à démontrer les bénéfices de la réduction des risques associés à la mise en production du gisement du projet minier Matawinie de Nouveau Monde Graphite. Elle vise l'atteinte de quatre objectifs précis :

- 1) Développer un modèle de simulation phénoménologique de l'usine;
- 2) Déterminer des moyens permettant d'optimiser la distribution granulométrique des flocons de graphite sans compromettre la très grande pureté et le bon rendement du concentré;
- 3) Réduire le risque économique associé à la variabilité géométrique du gisement;
- 4) Réduire le risque environnemental associé à l'entreposage des résidus générateur d'acide.

### **Résultats attendus**

La programmation de recherche générera les livrables suivants :

- Un modèle de simulation phénoménologique des opérations de broyage/flottation pour appuyer les travaux d'ingénierie et d'amélioration continue;
- Des capteurs virtuels, des algorithmes de commande prédictive et d'optimisation en temps réel à déployer en usine, spécialement conçus pour maximiser la valeur du concentré en optimisant la distribution granulométrique des flocons de graphite et en maximisant la pureté du concentré;
- Des études de cas démontrant le profit maximum atteignable en fonction de la variabilité géométrique du gisement;
- Un algorithme de commande prédictive pour minimiser le dosage en collecteur lors de la désulfuration des résidus;
- La diffusion des résultats (articles et présentations) mettant en valeur l'innovation réalisée au Québec.

### **Retombées escomptées**

La réalisation de la programmation de recherche permettra d'atténuer davantage les risques économiques et environnementaux liés à la mise en production d'une infrastructure minière appelée à devenir une actrice clé de la révolution énergétique. Le transfert des résultats contribuera ainsi explicitement à la matérialisation durable du potentiel minier du Québec en matière de minéraux critiques et stratégiques.

En outre, tous les modèles et algorithmes qui seront développés représentent une base de connaissances théoriques et pratiques pouvant être adaptée à de nouveaux cas. Les mémoires et les thèses qui en résultent présenteront d'ailleurs en accès libre tous les détails et les subtilités de manière à faciliter la poursuite des travaux et le transfert technologique, par exemple vers des systèmes de contrôle commerciaux.

D'autres membres de l'industrie minière du Québec pourraient ainsi en bénéficier pour améliorer la rentabilité tout en réduisant les risques économiques et environnementaux liés à leurs opérations.

### **Partenaires du projet**

- Nouveau Monde Graphite inc.

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

## Recyclage de réactifs en hydrométallurgie : étude du cas de la soude caustique (NaOH) dans la purification du graphite

**Chercheur responsable :** [Jean-François Boulanger](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

### **Objectif**

Ce projet de recherche appliquée étudie la problématique de l'utilisation et du recyclage de la soude caustique (NaOH) dans la purification du graphite par traitement caustique au NaOH en fusion, un procédé proposé par Mason Graphite, mais qui n'est pas encore utilisé au Québec et pour lequel seuls des essais discontinus à petite échelle ont été effectués jusqu'à présent.

Quatre objectifs précis sont mentionnés dans le projet :

1. La caractérisation de graphite et de solutions de NaOH contaminées fournies par Mason Graphite afin d'établir comment les impuretés influencent le recyclage de la soude caustique et l'efficacité du traitement caustique;
2. La modélisation d'approches traditionnelles et novatrices de reconditionnement et de reconcentration de la soude caustique afin de maximiser son recyclage en vue du traitement caustique;
3. La validation de la possibilité de recycler la soude reconditionnée en vue de la purification du graphite et du développement de méthodes novatrices et plus durables pour cette même purification du graphite;
4. La conception d'un simulateur en continu pour étude et optimisation du procédé de purification en milieu alcalin.

### **Résultats attendus (livrables)**

1. Une liste des impuretés les plus problématiques pouvant entrer dans une usine de purification de graphite.
2. Une définition des étapes critiques du circuit de purification du graphite.
3. Un bilan détaillé de la consommation et de la circulation de soude caustique dans un tel circuit.
4. Une estimation de la masse et de la composition des rejets du circuit avec des options d'élimination respectant les objectifs du développement durable.
5. Une analyse technico-économique du procédé et de sa sensibilité aux caractéristiques du graphite alimenté.

### **Retombées escomptées**

Les retombées anticipées incluent, pour le Québec, le développement d'une expertise en transformation hydrométallurgique du graphite et en intégration du développement durable à l'ingénierie, un champ qui contribue à rendre l'exploitation de minéraux stratégiques plus attractive. Mason Graphite se retrouvera pour sa part avec un simulateur permettant d'optimiser son procédé, de réduire ses coûts de production et de se distinguer sur le plan du développement durable, augmentant les chances de succès de son projet.

### **Partenaires du projet**

- Mason Graphite inc.
- Sefar BDH inc.

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 338 519 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Bruno Bussière](#), *Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue*

### **Objectif**

L'objectif principal du projet est de comprendre le comportement thermo-hydrogéotechnique du parc à résidus miniers filtrés de Mine Raglan. Les objectifs précis sont :

- 1) Caractériser au laboratoire les propriétés physiques, hydrogéologiques, thermiques et géomécaniques de résidus miniers filtrés gelés et non gelés;
- 2) Quantifier l'ampleur et l'évolution dans le temps des déformations à la surface de l'aire d'entreposage des résidus miniers filtrés en utilisant des modèles d'élévation numériques et différents instruments d'auscultation installés sur certaines zones critiques et représentatives de l'aire d'entreposage des résidus miniers filtrés;
- 3) Prédire le comportement thermo-hydromécanique de la structure d'entreposage à l'aide des observations *in situ* des propriétés déterminées au laboratoire et d'outils numériques;
- 4) Évaluer l'influence des déformations à long terme sur les possibles méthodes de restauration. L'approche qui combine des mesures expérimentales de pointe, des résultats uniques obtenus *in situ* et de la modélisation numérique est unique et originale.

### **Résultats attendus**

- 1) La détermination des propriétés thermo-hydrogéotechniques des résidus miniers filtrés de Mine Raglan à l'état gelé et non gelé.
- 2) La confection d'une carte des hétérogénéités en place à Mine Raglan.
- 3) La détermination des mécanismes de déformation dans les résidus gelés.
- 4) L'évaluation du comportement à long terme des parcs à résidus filtrés gelés.
- 5) Le développement d'un cadre de gestion de déposition des résidus miniers; des recommandations pour la restauration des parcs à résidus miniers filtrés en climat nordique qui intègre l'influence des mouvements à court et long terme sur la performance.

### **Retombées escomptées**

Les développements scientifiques tirés de cette étude seront applicables aux autres sites utilisant la technique des résidus filtrés en climat froid. Comme cette technologie est appelée à être utilisée de plus en plus dans l'avenir, les résultats de ce projet sont cruciaux pour une utilisation optimale de la technologie.

### **Partenaires du projet**

- Mines Agnico Eagle Ltée.
- Mine Raglan — Glencore Canada Corporation

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Bruno Bussière](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

### **Objectif**

Les géomembranes (GM) sont de plus en plus utilisées dans le contexte minier comme matériau étanche, particulièrement dans les systèmes de recouvrements utilisés pour la restauration de sites afin de maîtriser le drainage minier acide.

L'objectif général du projet est donc d'évaluer la performance et la stabilité de systèmes de recouvrement avec des géomembranes (PEHD et PEBDL) installées sur des parcs à résidus miniers, en prenant en compte des conditions d'installation et l'effet du vieillissement sur les propriétés des géomembranes.

Afin d'atteindre cet objectif, le projet est divisé en trois principales composantes :

- 1) Le comportement thermique et hydrogéologique des recouvrements, le développement des contraintes dans la GM au fil du temps et la capacité, à différentes échelles de géomembranes, de maîtriser les flux d'eau seront évalués sur les sites Aldermac et Éléonore;
- 2) L'évolution du comportement thermique, mécanique et hydrogéotechnique de géomembranes exhumées (aux sites Aldermac, Éléonore, LaRonde et Raglan) et dégradées artificiellement sera déterminée afin d'entrevoir l'évolution de la performance des systèmes de recouvrement avec des géomembranes;
- 3) L'analyse des différentes étapes de l'installation de systèmes de recouvrement avec des géomembranes sera effectuée sur les sites LaRonde (été 2021) et Éléonore (été 2022) afin d'observer, de documenter et d'étudier les différentes étapes de l'installation du recouvrement et de quantifier les défauts qui apparaissent durant la construction. Ces défauts influenceront grandement la performance à long terme du système de recouvrement.

### **Résultats attendus et retombées escomptées**

L'évolution de la résistance au cisaillement sol-géomembranes sera étudiée à l'aide d'essais de cisaillement traditionnels et modifiés, et les résultats seront intégrés dans des modèles numériques afin de mesurer l'effet de ce paramètre sur la stabilité de la pente.

Les développements liés à ce projet sont importants, puisqu'ils permettront aux chercheurs d'émettre des recommandations aux utilisateurs (compagnies minières et firmes de consultants) en vue d'une utilisation appropriée des géomembranes lorsque intégrées dans des systèmes de recouvrement visant à restaurer des sites miniers et à assurer leur intégrité à long terme.

### **Partenaires du projet**

- Mines Agnico-Eagle
- Newmont (Mine Éléonore)
- Mine Raglan (Glencore Canada Corporation)

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Li Zhen Cheng](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

### **Objectif**

Le projet vise à développer un outil informatique en vue de deux objectifs précis :

1. Développer de nouveaux algorithmes pour uniformiser les données spectrométriques qui devraient permettre de jumeler les données du ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) aux bases de données internationales, comme celle de l'ECCOMAGS européen et pour améliorer la capacité d'interprétation;
2. Développer une nouvelle approche méthodologique pour de multiples applications basées sur l'utilisation de données spectrométriques.

En améliorant la qualité des données spectrométriques, il est possible d'identifier les types de roches et d'améliorer l'évaluation du potentiel minéral ainsi que la prédiction des risques possibles de radiation liés à la nature des roches (p. ex., sources du radon). Les partenaires de notre projet intégreront ces outils dans la planification et le développement de nouvelles phases d'exploration et de surveillance environnementale.

### **Résultats attendus**

Le produit final sera une interface utilisateur graphique (IUG) qui contient des algorithmes de nivellement des données spectrométriques, de traitement d'images multidisciplinaires, de classification et de prédiction des zones d'anomalies de rayonnement- $\gamma$ . Ce développement ajoutera un nouvel outil de prédiction du potentiel minéral à la base de données du MRNF (SIGEOM); il fournira également un outil au ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) pour surveiller le rayonnement- $\gamma$  anormal à l'échelle régionale (p. ex., secteur de la centrale de Gentilly).

### **Retombées escomptées**

Les outils d'analyse de données et d'images seront utiles pour les géologues du MERN dans leur planification de la cartographie géologique du terrain. En effet, le traitement des données spectrométriques pourrait faire ressortir des réponses distinctes qui pourraient indiquer des lithologies différentes, des structures, des zones favorables à l'exploration minérale, etc. (p. ex., terres rares, altération hydrothermale liée à la minéralisation aurifère, etc.).

Les nouveaux algorithmes développés dans le cadre de ce projet de recherche enrichiront également la base de données SIGEOM du MRNF en fournissant un moyen d'analyse des données.

### **Partenaires du projet**

- Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Direction de l'acquisition des connaissances géoscientifiques.
- Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs.

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Quantification des flux diffus de contaminants : approche multi-méthodes pour optimiser la gestion environnementale des sites miniers**

**Chercheur responsable :** [Vincent Cloutier](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

### **Objectif**

L'objectif général de cette programmation de recherche est de développer et d'optimiser des approches destinées à la mesure des flux diffus de contaminants en contexte minier. Les thématiques et les approches méthodologiques ciblées incluent : 1) les méthodes géophysiques non invasives; 2) l'imagerie thermique par drone; et 3) le traçage isotopique.

Les objectifs particuliers de la programmation de recherche sont :

- 1- Développer des méthodes géophysiques non invasives pour estimer la teneur en eau dans les aires de rejets miniers, les digues et les formations géologiques;
- 2- Développer des approches de cartographie thermique par drone afin d'estimer la teneur en eau des résidus et de délimiter les zones d'exfiltration d'eau souterraine sous les digues et en périphérie des aires d'accumulation de rejets miniers;
- 3- Développer des approches de traçage isotopique permettant de déterminer la source et de quantifier les flux de contaminants à l'échelle des sites miniers.

### **Résultats attendus**

Les résultats associés aux trois objectifs particuliers de la programmation seront directement applicables au site pilote, le parc à résidus Quémont-2 du partenaire Fonderie Horne, ainsi qu'aux autres sites miniers dans les régions minières du Québec.

Bien que chaque site minier soit caractérisé par un environnement et des conditions hydrogéologiques lui étant propres, les approches novatrices (géophysique, imagerie par drone, géochimie isotopique) qui seront développées dans le cadre de ce projet sont non invasives et donc facilement transposables à d'autres sites miniers.

### **Retombées escomptées**

Pour l'industrie minière, l'accès à une telle innovation permettrait de limiter les sources d'incertitudes relatives à la détermination de la provenance et de la quantification des flux diffus de contaminants d'un site minier, un enjeu majeur en vue d'améliorer la gestion environnementale des sites miniers, particulièrement en contexte nordique ou à proximité des zones de captage d'eau potable. En complément, pour le gouvernement et le MRNF, les approches développées pourraient constituer des outils essentiels à l'optimisation de la restauration des sites miniers abandonnés, un enjeu majeur pour le Québec.

### **Partenaires du projet**

- Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
- École de technologie supérieure
- Institut national de la recherche scientifique
- Université du Québec à Montréal
- Fonderie Horne

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [David Conciatori](#), **Université Laval**

### **Objectif**

Ce projet vise principalement à valoriser les déchets miniers en les intégrant aux remblais en pâte cimentés incorporant des ajouts cimentaires avec des brasques traitées.

1. L'objectif 1 est d'optimiser l'utilisation des brasques traitées dans les pâtes et les différents déchets miniers.
2. L'objectif 2 est de caractériser la physicomécanique et la microstructure des remblais en pâte cimentés.
3. L'objectif 3 est de caractériser les teneurs en sulfate et la lixiviation de ces matériaux.
4. L'objectif 4 est d'analyser le cycle de vie de la production de remblais en pâte cimentés et de calculer les gains en CO<sub>2</sub> en l'utilisant comme matériau de remplissage selon les spécifications.

### **Résultats attendus et retombées escomptées**

Les résultats attendus contribueront grandement à l'avancement des connaissances sur la réutilisation des remblais en pâte cimentés avec des brasques traitées comme matériaux durables.

Le projet vise à déterminer les conditions d'utilisation sécuritaires et optimisées des remblais en pâte cimentés dans le béton et à développer le savoir-faire nécessaire dans l'industrie. La caractérisation du matériau permettra d'émettre des recommandations sur l'utilisation adéquate du matériau en fonction du taux de remplacement du ciment par les brasques traitées, du degré de contrainte mécanique, du degré d'exposition et des contraintes de mise en œuvre.

Plus précisément, le projet de recherche vise à déterminer les conditions de mélange des remblais en pâte cimentés avec les brasques traitées qui engendrent une meilleure durabilité, dans une perspective d'économie de ressource naturelle et de réduction du CO<sub>2</sub>.

Le recyclage des brasques traitées dans les remblais en pâte cimentés est une solution durable au recyclage des brasques traitées à l'échelle mondiale et contribue à la participation économique à l'échelle mondiale du secteur de l'aluminium et des mines.

Finalement, les empreintes globales laissées aux futures générations par le secteur de l'aluminium et des mines seront réduites dans une vision de développement durable.

### **Partenaires du projet**

- Ciment Québec
- Rio Tinto Alcan

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Développement de méthodes de mesures sur le terrain et au laboratoire par la spectroscopie laser plasma (LIBS) : application au lithium et à d'autres métaux critiques et stratégiques.**

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

### **Objectif**

Le projet propose de développer une nouvelle méthode de caractérisation des pegmatites à lithium grâce à la technologie novatrice de la spectroscopie laser plasma (SLP). Seule la SLP peut procurer des mesures quantitatives simultanées, *in situ*, et rapides du lithium et des autres éléments légers.

Objectifs particuliers :

- 1) Dans des conditions de terrain avec la SLPP (SLP portable), concevoir et réaliser la méthodologie analytique de prospection régionale sur des indices minéralisés en métaux rares (Li-Cs-Rb-Ta-Nb-Be) situés à l'intérieur et en bordure de plutons granitiques de différents sites sélectionnés en Abitibi;
- 2) Sur le terrain et au laboratoire, développer la méthodologie d'analyse par SLPP de la concentration en éléments majeurs et traces (dont les légers Li, Be, B, Na, Mg), du minerai et des stériles des gîtes de pegmatite à Li (gîtes LAN, Authier, Whabouchi);
- 3) Avec la SLP de laboratoire et pour les lithologies représentatives du projet, identifier et cartographier les minéraux, quantifier la minéralogie et la distribution granulométrique, caractériser les textures et estimer les proportions relatives des éléments majeurs;
- 4) Avec la SLP et la SLPP, établir une stratégie d'échantillonnage optimisant le nombre de tirs laser pour l'analyse représentative des échantillons géologiques.

### **Résultats attendus**

- 1) Rédaction d'un protocole complet de la méthodologie d'analyse *in situ* du minerai de lithium sous ses diverses formes (carottes, copeaux de forage, rejets, pulpes).
- 2) Capacité de distinguer le minerai du stérile directement sur le terrain par la mesure précise de la concentration de lithium.
- 3) Capacité de mesurer les concentrations de lithium, de métaux traces et d'éléments majeurs directement sur le terrain.
- 4) Caractérisation et quantification minéralogique et chimique en laboratoire. Réconciliation des mesures sur les mêmes échantillons.

### **Retombées escomptées**

Le projet de recherche permettra d'accélérer la prise de décision relativement à l'exploration et à l'exploitation du lithium. Il permettra d'améliorer l'identification du minerai et du stérile ainsi que leurs caractérisations chimiques et minéralogiques. De plus, les études minéralogiques détaillées faciliteront la gestion environnementale des résidus résultant de l'exploitation minière. La recherche proposée aura des retombées immédiates pour le développement des projets d'exploitation des entreprises minières partenaires.

### **Partenaires du projet**

- Corem, Elemission inc.
- Ministère des Ressources naturelles et des Forêts
- Nemaska Lithium inc., Sayona Québec

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Extraction responsable et valorisation des minéraux critiques et stratégiques issus de la filière  
fer titane au Québec**

**Chercheur responsable :** [Lucie Coudert](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

**Objectif**

Ce projet a pour objectif général d'étudier, par voie hydrométallurgique, la valorisation des éléments à valeur ajoutée, dont plusieurs MCS, inclus dans des concentrés ou des sous-produits non commercialisables, issus de la filière Fe-Ti au Québec.

Axes de recherche :

1. Extraction et valorisation du phosphore et des éléments de terres rares (ETR) inclus dans un concentré d'apatite;
2. Purification du sous-produit de titanate de sodium issu de la récupération du scandium.

**Livrables :**

- ✓ Livrable (L1) : Identification des minéraux associés aux éléments d'intérêt et de leur potentiel de récupération afin de mieux orienter les filières de traitement à mettre en place;
- ✓ Livrable (L2) : Développement de modèles établissant des liens entre les conditions opératoires et les rendements de solubilisation;
- ✓ Livrable (L3) : Étude comparative des performances des procédés de séparation en phase liquide pour la récupération sélective du fer, du scandium et des ETR et de leur influence sur la production d'engrais phosphatés;
- ✓ Livrable (L4) : Évaluation de la stabilité des rejets générés;
- ✓ Livrable (L5) : Étude comparative des avenues de purification du sous-produit de titanate de sodium;
- ✓ Livrable (L6) : Évaluation de la stabilité des rejets issus de la filière développée.

**Résultats attendus**

Un premier résultat sera la mise en place d'un procédé de valorisation conjointe des éléments à valeur ajoutée inclus dans un concentré d'apatite (p. ex., P, F, Sc, ETR).

**Retombées escomptées**

La production d'un produit de titanate de sodium répondant aux besoins du marché est une retombée attendue de ce projet.

Les connaissances seront transférées aux partenaires par l'entremise de présentations, de la publication d'articles scientifiques et de la participation à des conférences.

**Partenaires du projet**

- Canmet
- Rio Tinto

**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 est de mieux comprendre les sources et le cycle du mercure dans les gîtes archéens du Québec, et notamment en Abitibi, pour en tirer à la fois des guides et des outils de prospection et des éléments de pronostic des conséquences environnementales.

Le sujet est vaste et nous nous focaliserons sur les quatre sous-objectifs suivants :

- (1) Quels sont les contextes gîtologiques et les gisements d'or qui contiennent du mercure en Abitibi?
- (2) La source du mercure est-elle crustale ou mantellique?
- (3) Peut-on utiliser le mercure comme élément guide en exploration minière, sur la base de sa signature isotopique, ou en utilisant ses reprises gazeuses secondaires?
- (4) Y a-t-il des rejets miniers (résidus de concentrateur ou stériles ou des boues de traitement des eaux minières) porteurs de Hg et qu'en est-il des lixiviats issus de gisements plus riches en Hg?

### **Résultats attendus et retombées escomptées**

Sur le plan fondamental, on devrait mieux comprendre le cycle du mercure naturel dans le contexte de la construction de la croûte archéenne. Compte tenu de la presque absence de dépôts organiques, existe-t-il des réservoirs crustaux (relatifs à l'écorce terrestre)? Quel est l'apport mantellique (relatif au manteau terrestre) et quel est le rôle du métamorphisme?

Sur le plan de la recherche appliquée, plusieurs domaines bénéficieront de nos travaux. En exploration, nous pourrions mettre au point des outils de diagnostic basés sur la signature du mercure ou de ses isotopes dans les gisements d'or de l'Abitibi. On escompte notamment que le mercure devrait mieux tracer les systèmes magmatiques dont on a vu l'intérêt croître en exploration en Abitibi et ailleurs (Troilus, lac Coté, Malartic).

Les tests sur la diffusion du mercure dans l'encaissant et de mercurométrie pourraient permettre des développements techniques ultérieurement.

Enfin, une meilleure connaissance du comportement environnemental du mercure dans les cycles miniers, et notamment à partir des effluents entreposés en surface, nous semble indispensable, car la pénurie actuelle de données pourrait désagréablement surprendre l'industrie et les communautés sans qu'on soit préparé à y faire face.

### **Partenaires du projet**

- Mines Agnico-Eagle
- Vior inc.
- Minière 03

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

## Évolution biogéochimique des scénarios de gestion et de restauration impliquant des rejets miniers désulfurés

**Chercheur responsable :** [Isabelle Demers](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

### **Objectif**

L'objectif principal est d'évaluer la capacité à prévenir la formation du drainage minier contaminé à long terme des scénarios de gestion et de restauration impliquant des rejets désulfurés, en considérant l'évolution biogéochimique des rejets désulfurés.

Objectifs particuliers :

- 1- Comprendre l'évolution du comportement biogéochimique des rejets désulfurés dans des conditions oxygènes et anoxiques/anaérobies;
- 2- Évaluer l'effet de l'interaction entre les rejets désulfurés et les rejets sulfureux (frais et préoxydés) sur la chimie du lixiviat en contexte de restauration;
- 3- Modéliser l'évolution des conditions biogéochimiques des rejets désulfurés seuls et utilisés dans un scénario de restauration.

### **Résultats attendus**

Les travaux réalisés dans cette étude aideront à anticiper l'évolution potentielle de la qualité des eaux provenant de parcs à résidus où sont entreposés des rejets désulfurés, et de sites restaurés recouverts de rejets désulfurés.

Comme l'utilisation de rejets désulfurés en tant que matériau de restauration est émergente, les données sur le comportement à long terme sont rares et comportent encore beaucoup d'incertitudes.

Le projet permettra de déterminer les processus impliqués dans l'évolution du comportement biogéochimique des rejets désulfurés, ce qui servira à établir des prédictions numériques en réduisant l'incertitude sur la performance à long terme à limiter le drainage minier contaminé. Ces connaissances faciliteront la sélection judicieuse des modes de gestion et de restauration associés aux rejets désulfurés.

### **Retombées escomptées**

Le projet vise l'avancement des connaissances sur les rejets miniers désulfurés, provenant de différents sites miniers, donc ayant des caractéristiques physiques, chimiques, minéralogiques et microbiologiques différentes. Ces nouvelles connaissances alimenteront les choix en matière de gestion des rejets miniers et de méthodes de restauration des aires d'entreposage des rejets miniers.

De plus, le projet favorisera le développement ou le raffinement de méthodes de gestion ou de restauration impliquant la désulfuration. Ces façons de faire permettront de réduire les risques environnementaux et économiques conséquents et correspondront à une approche responsable qui favorisera la valorisation des rejets miniers.

### **Partenaires du projet**

- Iamgold, mine Westwood
- Newmont, mine Eleonore

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 285 750 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Isabelle Demers](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

### **Objectif**

Objectif principal : Déterminer/comprendre les phénomènes géochimiques impliqués dans la codéposition des résidus d'une exploitation de graphite contenant de la pyrrhotite et de la dolomite en vue de retarder l'apparition du drainage minier acide ou neutre contaminé.

Objectifs particuliers :

- 1- Déterminer l'effet des configurations de codéposition résidus-dolomite sur les réactions d'oxydation et de neutralisation (rapports résidus/dolomite, mélanges homogènes, structures en couches successives, etc.);
- 2- Déterminer l'effet du type de dolomite, comme la variabilité de sa composition chimique et minéralogique naturelle et les prétraitements (mi-calcination, hydratation, broyage) sur le comportement géochimique de la codéposition résidus-dolomite, de même que son potentiel comme traitement de polissage de l'effluent;
- 3- Comprendre le rôle de la passivation des sulfures par les minéraux secondaires engendrés par la solubilisation de la dolomite brute et mi-calcinée;
- 4- Évaluer les conséquences des conditions réductrices et de la microbiologie sur la réponse géochimique de la codéposition résidus-dolomite;
- 5- Déterminer l'évolution de la spéciation du soufre dans les processus géochimiques d'oxydation et de neutralisation de la pyrrhotite dans les conditions oxydantes et réductrices générées par les différentes options d'amendement avec la dolomite.

### **Résultats attendus et retombées escomptées**

Les gisements associés à une minéralisation graphitique se sont formés dans des environnements sédimentaires dans lesquels on peut trouver des roches carbonatées (calcaire, dolomie). De plus, les gisements graphitiques sont généralement caractérisés par une proportion importante de sulfures, principalement sous forme de pyrrhotite.

Ainsi, les résultats de ces travaux de recherches auront d'importantes retombées sur la gestion du drainage minier acide, non seulement pour le gisement du lac Knife, mais également pour de nombreux autres gisements de graphite au Québec.

Les connaissances acquises concernant la réactivité de la pyrrhotite engendreront également des retombées pour les gisements associés à la pyrrhotite (p. ex., nickelifères).

L'originalité de ce projet provient de l'utilisation de la dolomite naturelle et modifiée pour favoriser à la fois la neutralisation et la passivation de la pyrrhotite contenue dans les résidus d'une exploitation de graphite.

### **Partenaires du projet**

- Focus Graphite inc.

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Annie DesRochers](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

### **Objectif**

L'objectif principal de cette étude consiste à mettre en place des stratégies de naturalisation des affleurements rocheux et des sites dégradés situés aux environs de la Fonderie Horne et aux abords de la ville de Rouyn-Noranda. Cette opération consiste à reconstituer les sols et la biodiversité afin de rétablir des écosystèmes forestiers fonctionnels sur les sites dégradés près des aires d'entreposage des rejets miniers à court terme (< 3 ans).

Trois volets seront développés afin : 1) de déterminer les meilleures combinaisons de substrats et d'espèces indigènes à utiliser sur le terrain; 2) d'évaluer le potentiel d'établissement de végétaux et de tapis de lichens; et 3) d'estimer la biodiversité végétale et la séquestration de carbone des îlots végétaux créés.

### **Résultats attendus**

Le projet aura des retombées sur les plans environnemental et social. L'expertise développée nous permettra de recommander des façons de faire pour revégétaliser le paysage de caps de roches dénudées ayant comme retombées principales d'améliorer l'esthétisme du paysage et de permettre sa colonisation par la végétation indigène environnante. Les conséquences de ces actions sur la biodiversité et la séquestration du carbone seront mesurées, ce qui nous fournira des données concrètes sur cet environnement particulier et encore mal connu.

Nous serons également en mesure de mesurer l'efficacité des divers traitements sur la colonisation du milieu par des espèces indigènes environnantes ainsi que leurs effets sur la biodiversité végétale et microbienne et la séquestration du carbone dans cet environnement particulier.

### **Retombées escomptées**

Comme employeur majeur, Glencore-Fonderie Horne joue un rôle très important dans la vie socio-économique de la région de Rouyn-Noranda et la démonstration d'actions concrètes pour l'amélioration de la qualité de la vie des citoyens devrait avoir des retombées positives importantes sur l'image de l'industrie.

Les résultats de l'étude pourraient également s'appliquer à d'autres régions aux prises avec des problèmes d'érosion d'affleurements rocheux ou pour la naturalisation de sites miniers abandonnés dont les environnements stressants retardent le rétablissement de la végétation.

L'utilisation de technosols est relativement récent pour la naturalisation des sites miniers et permettra de faire avancer les connaissances dans ce contexte particulier où l'établissement de plantes est très difficile et où les stress écophysologiques (chaleur, sécheresse) sont majeurs.

### **Partenaire du projet**

- Fonderie Horne

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 379 889 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

## *L'imagerie sismique un outil pour réduire les risques d'exploration et d'exploitation en profondeur*

**Chercheur responsable :** [Christian Dupuis](#), Université Laval

### **Objectifs**

Les objectifs de ce projet sont de créer des instruments adaptés à l'acquisition de données sismiques en forage en tenant compte des réalités québécoises en matière d'accès au territoire et de pratiques d'exploration.

L'acquisition de données sismiques en forage est préconisée, car elle permet de désigner et d'imager les réflecteurs qui sont interceptés par le forage. Ces données permettent d'augmenter le volume d'information en lien avec le puits et peuvent être utilisées pour planifier d'autres travaux sismiques si un projet de mine voit le jour.

Les deux instruments qui devront être développés sont une source vibrante et une chaîne de capteurs sismiques en forage. Bien que ces instruments existent déjà sur le marché, ils ne sont pas adaptés aux réalités de l'industrie minière.

### **Résultats attendus**

Une source vibrante électromagnétique qui est suffisamment puissante pour être utilisée en exploration profonde n'existe tout simplement pas pour l'instant. Elle sera donc unique en son genre. Les avantages conférés par cette nouvelle source devraient être : 1) l'interopérabilité entre les véhicules munis d'un système hydraulique; 2) une meilleure gestion des aspects dynamiques de la masse de réactions; et donc 3) une meilleure linéarité du signal transmis au sol. La commande électrique de cette nouvelle source permettra aussi de créer des sources plus puissantes en jumelant plusieurs sources vibrantes.

Cette infrastructure sera mise à la disposition de nos partenaires qui pourront offrir des services de profilage sismique. Elle sera également accessible à nos collaborateurs des milieux universitaires et collégiaux qui pourront poursuivre le développement du profilage sismique vertical pour l'industrie minière québécoise.

### **Retombées escomptées**

Les images à haute résolution produites auront une influence importante sur la planification des travaux de forage et d'éventuels projets sismiques de plus grande envergure. La diminution des coûts engendrés par la réduction du nombre de forages nécessaires durant l'exploration contribuera à améliorer la compétitivité des projets québécois tout en réduisant les conséquences environnementales.

En plus de contribuer directement à l'essor de ce marché et à la recherche fondamentale dans ce domaine, cette technologie permettra de développer une expertise unique au Canada et dans le reste du monde.

### **Partenaires du projet**

- WSP Canada inc.

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 364 490 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Gabriel Fabien-Ouellet](#), Polytechnique Montréal

### **Objectif**

Ce programme de recherche propose de développer une méthodologie de traitement sismique basée sur la migration en temps inverse (RTM) et l'inversion de formes d'ondes (FWI) en sismique minière. Cette approche améliorera l'imagerie en présence de forts pendages et de contrastes de vitesse, et fournira une estimation des propriétés géomécaniques des roches. L'amélioration de l'imagerie sismique minière peut fortement profiter aux efforts en prospection de cibles profondes, des phases de la reconnaissance régionale à la définition des corps minéralisés.

L'objectif général du projet proposé est de développer une approche de traitement sismique basée sur le RTM et la FWI adaptés aux levés sismiques miniers acquis pour des cibles d'exploration sur le territoire québécois.

Le projet comporte trois objectifs particuliers :

1. Estimer les propriétés géomécaniques des roches grâce à l'inversion de la forme d'onde;
2. Intégrer, lors de l'inversion, les contraintes géologiques obtenues de diagraphies, des données de forages et des relations pétrophysiques qui en découlent;
3. Démontrer l'applicabilité et les avantages du traitement FWI et RTM pour les levés sismiques de nos partenaires industriels.

### **Résultats attendus**

L'atteinte des objectifs par les trois projets de recherche proposés débouchera sur plusieurs résultats faisant avancer les connaissances sur le plan scientifique et qui seront directement valorisables par l'industrie minière au Québec. Ils offriront un retraitement des lignes sismiques acquises par nos partenaires industriels. Ce retraitement permettra de dégager de nouvelles cibles de forage et valorisera les données sismiques à toutes les étapes du projet d'exploration.

### **Retombées escomptées**

Il est primordial pour l'industrie minière de valoriser au maximum leurs levés sismiques, qui demeurent très coûteux à l'acquisition.

Les projets de recherche proposés dans cette demande appuieront l'industrie dans cet effort. De plus, notre partenaire, GPR International, profitera de l'expertise ainsi développée afin d'offrir à ses clients les nouvelles approches de traitement sismique.

À plus long terme, l'amélioration des séquences de traitement permettra de faire de la sismique réflexion un outil important pour la caractérisation de gisements profonds, et ce, à toutes les étapes d'un projet d'exploration, de la désignation des cibles à l'estimation des ressources.

### **Partenaires du projet**

- Canadian Royalties inc.
- Mineral Exploration Research Centre (Université Laurentienne)
- Géophysique GPR International

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

*Écosystèmes et paysages de références pour la restauration des crêtes rocheuses dénudées  
autour de la ville de Rouyn-Noranda*

**Chercheur responsable :** [Nicole Fenton](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

**Objectif**

L'objectif de ce projet de recherche est d'établir des cibles de naturalisation réalistes basées sur les conditions régionales :

- Volet 1 : Reconstitution des changements de couvert forestier au courant du dernier siècle dans les affleurements rocheux de la zone d'influence de la fonderie;
- Volet 2 : Déterminer l'empreinte de la fonderie sur l'écophysio­logie des arbres aux alentours de Rouyn-Noranda;
- Volet 3 : Déterminer la différence entre la végétation et le microbiome du sol dans des sites à l'intérieur et à l'extérieur de la zone d'influence;
- Volet 4 : Caractérisation de la distribution spatiale de la végétation de la zone d'influence de la fonderie par télédétection et détermination de la valeur biologique ou sociale.

**Résultats attendus**

Avec les connaissances acquises dans le cadre des projets décrits ici, la compagnie Glencore sera en mesure d'établir des cibles quantitatives (la proportion) et qualitatives (la composition biologique souhaitée) de naturalisation des affleurements rocheux et pourra indiquer quels sites dégradés devront être priorités pour avoir le plus grand effet positif autant pour la population que les écosystèmes.

**Retombées escomptées**

Les retombées escomptées de ce projet sont les connaissances nécessaires sur le contexte régional de la fonderie Horne à Rouyn-Noranda pour encadrer un plan de naturalisation des affleurements rocheux et des autres sites dégradés.

Les résultats pourront être utilisés comme hypothèse de départ par d'autres installations avec des historiques de pollution atmosphérique importante dans le cadre de démarches de naturalisation ou simplement de délimitation des répercussions.

**Partenaires du projet**

- Glencore — Fonderie Horne

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

## La microflore et la microfaune benthiques comme indicateurs d'apports en nitrates et en métaux

**Chercheur responsable :** [Claude Fortin](#), Institut national de la recherche scientifique

### **Objectif**

L'objectif général de ce projet est de pouvoir utiliser les biofilms (consortium d'algues, bactéries, champignons et microméiofaune) pour mieux suivre les changements (p. ex., une amélioration) dans les milieux récepteurs des effluents miniers.

Les objectifs particuliers s'inscrivent dans trois volets de recherche :

1. Mettre au point des outils de suivi des effets du nitrate sur les biofilms;
2. Déterminer de nouveaux indicateurs d'effets du cuivre chez les organismes contenus dans les biofilms;
3. Développer un modèle prédictif de l'accumulation des métaux (Cu, Ni et Zn) dans les biofilms en fonction de la physicochimie du milieu récepteur.

### **Résultats attendus**

Les volets proposés permettront donc de développer des outils permettant de mieux évaluer l'effet des effluents miniers, et ce, avec des organismes ubiquistes (biofilms) dans les milieux récepteurs. Ces outils pourront être utilisés dans différents contextes, que ce soit lors de l'implantation d'une nouvelle mine (suivi d'une possible détérioration), lors de la mise en place d'un nouveau procédé ou de la réhabilitation d'un site (suivi de l'amélioration).

Les biofilms offrent l'avantage de réagir rapidement (échelle de jours à semaines), alors que les approches de biosuivi faisant appel à des invertébrés ou à des poissons peuvent nécessiter plusieurs années pour leur implantation/récupération à la suite d'une perturbation.

### **Retombées escomptées**

Grâce à cet outil, les entreprises minières auront la certitude que leurs effluents ne nuisent pas gravement aux organismes vivants dans le milieu récepteur.

Notre partenariat avec le CEAEQ ouvre la voie à une application large de ce nouvel outil de suivi environnemental de la contamination et de la réhabilitation des cours d'eau. Les résultats de la recherche pourront être appliqués immédiatement.

De plus, les connaissances acquises et l'outil développé pourront être appliqués à la gestion de la qualité de l'eau dans d'autres milieux touchés par les activités minières et, possiblement, à d'autres types d'activités anthropiques (p. ex., agriculture).

### **Partenaires du projet**

- Corem
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Claude Fortin](#), Institut national de la recherche scientifique

### **Objectif**

L'objectif général de ce projet est de combler les lacunes dans nos connaissances écotoxicologiques afin de mieux évaluer le risque que posent l'exploitation minière et l'utilisation de palladium (Pd) et de platine (Pt).

Ce projet se décline en quatre volets, abordant les effets, le destin intracellulaire, le mouvement dans les réseaux trophiques et l'intégration des données produites :

- *Volet 1 – Effets du Pd et du Pt sur les organismes vivants.* Dans ce volet, nous allons déterminer les seuils de toxicité du Pd et du Pt pour plusieurs organismes aquatiques et terrestres afin de compléter les données disponibles. La gamme de sensibilité permettra d'identifier les espèces particulièrement sensibles à ces éléments;
- *Volet 2 – Destin intracellulaire du Pd et du Pt dans deux organismes vivants.* En nous concentrant sur deux espèces particulièrement sensibles (désignées dans le volet 1 du projet), nous proposons d'examiner le destin intracellulaire du Pd et du Pt parmi les différents compartiments cellulaires afin de pouvoir mieux comprendre les cibles subcellulaires et les mécanismes de détoxification. Par la suite, nous scruterons plus en détail les biomolécules qui sont ciblées par ces contaminants dans les cellules;
- *Volet 3 – Transfert du platine et du palladium dans les réseaux trophiques.* Nous proposons de tracer le transfert trophique du platine et du palladium dans des écosystèmes terrestres, d'eau douce et marine du Québec, par la mesure de la bioaccumulation de ces éléments dans différents organismes et par le traçage isotopique des réseaux alimentaires avec les isotopes d'azote et de carbone;
- *Volet 4 – Méta-analyse et intégration des données écotoxicologiques.* Dans ce volet final, les données produites seront regroupées avec des données issues de la littérature afin d'établir les distributions de sensibilité.

### **Résultats attendus**

En plus de fournir de précieuses données toxicologiques aux gestionnaires de l'environnement, ce projet permettra de mieux cibler les interventions nécessaires pour protéger les espèces les plus vulnérables de nos écosystèmes. Ces données seront grandement utiles aux exploitants miniers. D'une part, ils pourront avoir l'heure juste sur les concentrations seuils à ne pas dépasser, réduisant ainsi l'incertitude sur les effets négatifs de leurs activités. D'autre part, ils pourront mieux cerner les risques liés à un site en fonction de l'emplacement de l'exploitation et des espèces possiblement exposées au Pd et au Pt.

### **Retombées escomptées**

Les retombées scientifiques potentielles de ce projet sont importantes pour une évaluation adéquate des répercussions de l'exploitation minière et de l'utilisation finale des ressources exploitées. Cette préoccupation est au cœur même des priorités gouvernementales en matière de développement minier durable.

### **Partenaires du projet**

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

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

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

### **Objectif**

Le programme de recherche proposé porte sur le développement d'outils utilisant des méthodes analytiques avancées pour la maintenance préventive et prédictive.

Le programme de recherche est divisé en quatre projets interreliés qui consistent à développer :

1. P1 : Un protocole de mise en place de collecte des données efficace, fiable et exploitable pour la maintenance préventive et prédictive;
2. P2 : Des outils d'analyse des données pour la maintenance préventive des équipements fixes et mobiles;
3. P3 : Des outils d'analyse des données pour la maintenance prédictive des équipements fixes et mobiles;
4. P4 : Un outil de visualisation et d'aide à la décision sur l'état des équipements et des opérations.

### **Résultats attendus**

Avec une stratégie de maintenance mieux définie et adaptée à chaque type d'équipement, nous sommes convaincus que les résultats obtenus dans le cadre de ce programme de recherche entraîneront une augmentation de la disponibilité opérationnelle des équipements, une diminution des coûts de maintenance et, par conséquent, une productivité accrue.

### **Retombées escomptées**

La surveillance des performances des équipements peut faire économiser des millions de dollars aux entreprises grâce à une diminution des interruptions de service, une durée de vie des équipements plus longue et un environnement de travail plus sûr. La clé est de pouvoir extraire la bonne information et de faire les liens entre les données.

Les experts prévoient que l'intégration de capteurs intelligents dans les mines et l'interprétation intelligente des données générées permettra un gain d'une valeur de 8,8 milliards de dollars pour les opérations minières d'ici à 2025.

### **Partenaires du projet**

- Groupe MISA
- Newtrax inc.

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 377 190 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

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

### **Objectif**

Le programme de recherche proposé porte sur le développement d'outils utilisant des méthodes analytiques telles que l'apprentissage automatique et l'optimisation pour améliorer en temps réel les opérations minières souterraines. Le programme de recherche est divisé en quatre projets interreliés qui consistent à :

- P1 : Développer un outil basé sur des modèles mathématiques pour la planification optimale des quarts de travail dans les mines qui intègre la variabilité et l'incertitude sur les données : temps d'opération, disponibilité des équipements et connaissance des ressources naturelles;
- P2 : Développer un outil de détection et de prédiction des événements irréguliers dans les opérations minières et également des conditions ou des configurations engendrant des opérations sous-optimales;
- P3 : Développer un mécanisme de réaction en temps réel aux changements opérationnels qui permettra de déterminer l'opportunité de réagir ou non à un événement et, si oui, de proposer la meilleure solution qui permettra de poursuivre les opérations de la meilleure façon tout en prenant en compte les développements et les opérations futurs de la mine;
- P4 : Développer un outil de validation des décisions proposées qui permettra de simuler diverses conditions opérationnelles et de détecter des failles dans les modèles de planification afin de permettre des solutions optimales et robustes.

### **Résultats attendus**

Les outils d'aide à la décision qui seront développés permettront aux minières de répondre rapidement aux imprévus des opérations quotidiennes tout en ayant une vision globale du problème. Les solutions proposées comporteront des indicateurs de performance, permettant ainsi aux gestionnaires d'évaluer l'influence de chacune d'elles. Pour avoir testé certaines des méthodes de résolutions proposées dans d'autres contextes, nous sommes sûrs que celles-ci offriront des pistes de solution globale dans un délai très court.

### **Retombées escomptées**

Selon des spécialistes, l'intégration des technologies numériques dans les mines permettra d'améliorer les performances des équipements, des économies de coûts opérationnels ou administratifs et une meilleure prise de décision. On cite également que les opérations minières ont des attentes croissantes quant à des outils de planification opérationnelle plus dynamique et en temps réel.

Les travaux de recherche proposés dans ce document vont en ce sens et permettront de développer des outils de base pour la prise de décisions en temps réel des mines souterraines et de structurer les étapes menant à ces décisions. Ils amélioreront les méthodes de résolution des problèmes d'optimisation en temps réel. Ces problèmes seront encore plus utilisés à l'avenir, car les industriels souhaitent de plus en plus réduire le temps de réponse à tout changement d'activité.

### **Partenaires du projet**

- Groupe MISA

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

## Développement d'un outil prédictif par apprentissage automatique de la dégradation par corrosion d'un pipeline

**Chercheur responsable :** [Axel Gambou-Bosca](#), Cégep de Trois-Rivières

### **Objectif**

Le but principal du projet est d'augmenter la fiabilité des installations à la mine Goldex afin de minimiser leurs conséquences environnementales en cas de défaillance prématurée.

Plus spécialement, il s'agira pour l'équipe de recherche de développer un outil prédictif de la dégradation par corrosion du pipeline qui est accessible, pour être facilement transposé à d'autres installations de la mine Goldex; modulable pour tenir compte des variations dans le procédé et des variations locales de la dégradation du pipeline; et fiable afin d'effectuer les opérations de maintenance préventive et d'accroître la durabilité du pipeline.

Pour ce faire, l'utilisation de l'intelligence artificielle par l'entremise de l'apprentissage automatique est envisagée comme outil de prédiction.

### **Résultats attendus**

Les résultats attendus pour ce projet et qui sont présentés comme des livrables pour chacune des tâches seront transmis sous forme de rapports techniques et de communications aux partenaires à la mine pour une diffusion au sein de la compagnie. Les aspects scientifiques ne faisant pas l'objet d'un avantage concurrentiel pour le partenaire feront l'objet de diffusion sous forme d'au moins une publication scientifique avec ou sans comité de pairs.

### **Retombées escomptées**

À l'issue de ce projet, il est attendu que les résultats obtenus contribuent notablement au développement durable de la mine Goldex et, plus largement, à celui du secteur minier avec des retombées telles que :

- Sur le plan environnemental :
  - Réduction des conséquences et de l'empreinte environnementale de l'activité minière sur le paysage et les écosystèmes par une approche de maintenance préventive et de gestion des opérations;
- Sur le plan de l'écosystème minier au Québec :
  - Développement des connaissances théoriques et pratiques de grande qualité et d'intérêt pour l'industrie minière en ce qui concerne l'étude et la gestion de la défaillance par corrosion des structures stratégiques,
  - Redynamisation du secteur minier et de la perception du public par une approche Mine 4.0 avec intégration de l'IA dans la chaîne de valeur de la mine Goldex,
  - Formation de la relève et des personnes hautement qualifiées dans le domaine minier,
  - Encouragement aux collaborations mutuellement bénéfiques entre la communauté scientifique des CCTT et l'industrie minière du Québec en matière de développement durable du secteur minier.

### **Partenaires du projet**

- Mines Agnico-Eagle — Mine Goldex

**Durée du projet :** 2 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 160 625 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

***Quelle acceptabilité sociale pour les projets miniers de la transition énergétique? L'influence de l'usage, de la culture et des valeurs collectives sur le développement minéral au Québec***

**Chercheur responsable :** [Corinne Gendron](#), Université du Québec à Montréal

**Objectif**

L'objectif général de cette recherche est de mieux comprendre les dynamiques de l'acceptabilité sociale des projets miniers visant des MCS afin d'assurer un cadre de développement cohérent avec les besoins et les paramètres établis par les différentes parties prenantes.

Les objectifs particuliers sont :

- 1) Cerner les arguments distinctifs utilisés pour promouvoir les projets de MCS par rapport aux autres projets miniers. Les justifications en appelant à une dimension collective et aux valeurs sociales, de nature économique, environnementale, sociale ou éthique retiendront particulièrement notre attention;
- 2) Examiner les réactions des communautés voisines des projets de MCS et des autres acteurs sociaux quant à ces arguments, y compris l'importance relative accordée aux justifications avec une dimension collective;
- 3) Les sujets de préoccupation qui se distinguent des autres projets miniers seront aussi considérés. Les caractéristiques et la culture de chacune des communautés seront prises en compte pour évaluer si celles-ci influencent la sensibilité à l'un ou à l'autre de ces sujets de préoccupation;
- 4) Analyser l'issue des interactions entre promoteurs de projets de MCS et communautés, en particulier les conditions posées par les communautés et les ententes, les engagements et les contreparties résultant des dialogues et des négociations.

**Résultats attendus**

Pour les praticiens des relations avec les communautés, un document succinct (guide) adapté aux besoins du travail sur le terrain sera produit par l'équipe en collaboration avec nos partenaires afin d'aiguiller ces professionnels dans leurs relations avec les communautés et les acteurs sociaux. Un webinaire sera organisé pour présenter ce document.

**Retombées escomptées**

La recherche concourra aux efforts pour développer le secteur des MCS dans les meilleures conditions possibles. Elle permettra de mieux comprendre les particularités des communautés québécoises concernées par les projets miniers de MCS, tout en définissant des justifications économiques, sociales, environnementales et éthiques en rapport avec celles-ci.

Le secteur des MCS et des chaînes de valeur qui y sont associées profitera de ces connaissances pour mieux élaborer leurs arguments sur leur pertinence et leur image de marque. Le gouvernement pourra utiliser ces connaissances pour améliorer ses lignes directrices et sa réglementation associées aux MCS. Les communautés et les acteurs sociaux seront plus à même de comprendre les dynamiques de soutien et les contestations qui portent sur ce type de projet.

**Partenaires du projet**

- Association minière du Québec
- Association de l'exploration minière du Québec
- Cree Mineral Exploration Board

**Durée du projet :** 2 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 254 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

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

### **Objectif**

L'objectif général du projet est de développer des outils d'aide à la décision permettant d'assurer la sécurité du personnel et d'optimiser l'exploitation des mines souterraines, à partir de la surveillance microsismique.

L'objectif particulier du projet est d'implanter une méthode de détection des ondes sismiques et de pointé des temps d'arrivée par réseau de neurones pour une utilisation en temps réel dans des environnements variés.

### **Résultats attendus**

À la fin du projet, les programmes informatiques développés seront mis à la disposition de l'industrie et de la communauté scientifique. Ces programmes sont un logiciel de détection des événements microsismiques, d'identification des phases P et S et de pointé des temps d'arrivée. Deux étudiants auront obtenu leur diplôme et pourront accéder au marché de travail et procéder au transfert des avancées vers l'industrie.

### **Retombées escomptées**

Le projet permettra de mieux estimer les risques de coups de terrain liés à l'extraction minière et ainsi accroître la sécurité et la productivité. En effet, en améliorant notre capacité à détecter les microséismes de faible magnitude en temps réel, on améliore l'évaluation des changements de contrainte dans le massif rocheux et les risques liés à la cadence de minage. Cela permet à l'ingénieur minier de mieux optimiser le processus d'extraction.

De plus, une augmentation du nombre d'événements détectés a un effet direct sur la précision de la localisation de l'hypocentre du microséisme, cette précision étant fonction du nombre de capteurs où l'événement est enregistré.

En collaboration avec le partenaire, les programmes informatiques qui seront développés dans le cadre du projet seront mis à l'épreuve dans des conditions réelles de production. La rétroaction du partenaire permettra de nous assurer de la pertinence et de la performance des outils développés. À terme, nous espérons que la technologie sera déployée dans les produits commercialisés par le partenaire.

### **Partenaires du projet**

- ESG Solutions

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 285 369 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

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

### **Objectif**

Le chercheur propose d'adapter des algorithmes de traitement d'images par apprentissage automatique profond semi-supervisé pour démocratiser le potentiel des données géophysiques aéroportées et satellitaires, et ce, afin de réaliser la prédiction géologique en deux et trois dimensions.

Plus précisément, le programme de recherche consistera en deux parties complémentaires et imbriquées :

- 1) Entraîner un réseau de neurones profond permettant d'analyser les données géophysiques aéroportées et satellitaires afin de reconnaître les textures géologiques multiéchelles à plusieurs profondeurs;
- 2) Valider et éventuellement modifier l'architecture du réseau de neurones de l'étape 1 sur des données géophysiques aéroportées simulées sur des modèles géologiques et pétrophysiques numériques tridimensionnels.

### **Résultats attendus**

Les travaux permettront de développer une nouvelle méthode pour analyser et visualiser les données de grande taille et de grande dimension (nombre de variables), permettant ainsi de mieux préparer et outiller les experts pour la cartographie géologique.

Parmi les résultats attendus de notre recherche, les portfolios d'outils prédictifs permettront de comparer les signatures de secteurs reconnus pour les gisements afin de trouver des secteurs aux signatures similaires.

### **Retombées escomptées**

L'outil numérique que nous allons développer permettra de :

- générer des représentations des données interprétables par un géologue non spécialisé en géophysique ou en intelligence artificielle;
- développer un portfolio d'outils prédictifs comparant les signatures des données disponibles dans des secteurs ciblés pour leur contexte minéralisé avec de nouvelles données afin d'augmenter les chances de succès en exploration minérale au Québec.

### **Partenaires du projet**

- SRK Consulting
- Osisko Royalties
- Mira Geoscience ltd
- Solutions Geolearn inc.

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 379 095 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

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

### **Objectif**

L'objectif général du projet de recherche permettra d'intégrer de manière holistique le régime structural, le facteur le plus critique pour comprendre le comportement du massif rocheux lors des analyses de stabilité des ouvrages miniers en développant nos connaissances théoriques et pratiques dans le domaine, tout en collaborant étroitement avec l'industrie minière.

Les sous-objectifs sont :

- 1) Améliorer la caractérisation du régime structural en milieu minier souterrain en utilisant des approches novatrices basées sur la photogrammétrie, les relevés LiDAR et des caméras de fond de trou en mettant l'accent sur l'acquisition des propriétés critiques pour la stabilité des excavations;
- 2) Développer et améliorer la modélisation des réseaux de fractures discrètes (*Discrete Fracture Network* [DFN]) pour des applications minières en intégrant les aspects critiques du régime structural sur la stabilité des ouvrages, notamment la terminaison des discontinuités, la hiérarchie des différentes familles et les propriétés mécaniques des discontinuités;
- 3) Intégrer la modélisation optimisée des DFN aux analyses de la stabilité et du comportement du massif rocheux;
- 4) Intégrer les conditions arctiques aux analyses numériques de la stabilité : zone de pergélisol, zone sous le pergélisol, zone de transition (notamment l'érosion fluvioglaciale) dans les analyses de stabilité par la modification des propriétés mécaniques des discontinuités dans les modèles numériques.

### **Résultats attendus**

Les résultats de ce projet de recherche fourniront des méthodes de terrain plus efficaces et fonctionnelles afin de caractériser la fracturation, des outils-logiciels DFN adaptés aux conditions minières souterraines, de mieux comprendre le comportement du massif rocheux dans le contexte de mines souterraines et particulièrement dans le contexte de mines en milieu arctique.

### **Retombées escomptées**

Dans un cadre plus large, ce projet permettra d'accroître la sécurité des travailleurs et la rentabilité économique des projets miniers (minimisant le potentiel de stérilisation de zones minières à la suite d'effondrements structuraux majeurs). Les outils de caractérisation et les DFN développés seront également facilement applicables pour caractériser le régime structural dans le contexte de mine sismiquement active où les conditions structurales ont un effet majeur sur la réponse sismique et la déformation du massif rocheux.

### **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.**

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

### **Objectif**

L'objectif général du projet de recherche est de développer une méthodologie globale, pratique et intégrée pour la conception, l'optimisation et l'analyse de la performance des bancs (BFA) et des inter-rampes (IRA) dans le contexte de mines à ciel ouvert sur la base de données LiDAR en assurant la formation de personnel hautement qualifié (PHQ) nécessaire à l'industrie.

Les objectifs secondaires sont :

- 1- Améliorer la caractérisation structurale dans les mines à ciel ouvert à l'aide d'une approche LiDAR;
- 2- Améliorer la représentation des conditions structurales de terrain par des modèles de réseaux de fractures discrètes (DFN);
- 3- Concevoir un modèle géotechnique en phase avec les besoins des opérations;
- 4- Mieux anticiper (concevoir) les instabilités potentielles et le bris arrière des pentes (BFA et IRA) à l'aide d'approches probabilistes (DFN) et par éléments distincts;
- 5- Mieux quantifier la performance des pentes minières à la suite de leur excavation;
- 6- Améliorer la sécurité des travailleurs et maximiser le profit des opérations.

### **Résultats attendus**

Ce projet permettra de développer une approche intégrée et pratique permettant de caractériser adéquatement le régime structural sur le terrain, de développer des outils et des méthodes, notamment DFN, pour analyser la stabilité et la performance des BFA et des IRA lors de la conception.

Ces mêmes outils permettront de développer une méthodologie robuste afin d'évaluer la performance des pentes excavées. Finalement, des abaques de conception seront produits pour faciliter le travail des ingénieurs sur les sites miniers.

### **Retombées escomptées**

Les résultats de ce projet de recherche offriront des méthodes de terrain plus efficaces et fonctionnelles afin de caractériser la fracturation, des outils-logiciels DFN adaptés aux conditions minières des mines à ciel ouvert, afin de mieux comprendre le comportement du massif rocheux dans le contexte de ces mines. Dans un cadre plus large, ce projet permettra d'accroître la sécurité des travailleurs et la rentabilité économique des projets miniers.

### **Partenaires du projet**

- Minerai de fer du Québec

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Mise au point de différents protocoles d'essais cinétiques sur le terrain pour la prédiction de la qualité du drainage des stériles et des résidus miniers**

**Chercheur responsable :** [Katline Guay](#), Cégep de Thetford

**Objectif**

Objectif général : Développer un essai *in situ* qui permettrait de connaître les conditions de solubilité des minéraux secondaires (concentrations maximales probables).

Objectifs particuliers :

- Caractériser les stériles de l'ancienne mine Troilus;
- Suivre l'évolution (passée et actuelle) de la qualité des eaux des haldes déjà en place;
- Mettre en place différents protocoles d'essais de terrain sur le site de Troilus et comparer les résultats avec l'eau collectée des haldes;
- Utiliser ces mêmes protocoles avec la roche qui serait extraite dans l'avenir afin de vérifier quel serait l'effet de l'altération des roches avant la mise à l'essai;
- Évaluer l'importance relative de la longueur de parcours d'eau et de la quantité de roche dans une cellule d'essai pour différents types de roches;
- Prédire quelles seraient les concentrations maximales à l'équilibre de tous les paramètres pouvant se retrouver dans les eaux de contact du projet Troilus basé sur les connaissances acquises dans le cadre de ce projet de recherche.

**Résultats attendus**

Pour ce projet, on vise trois années de collecte de données. À la fin, certains de ces résultats serviront à :

- connaître les paramètres clés des essais *in situ* et d'être en mesure de connaître quelles seraient les dimensions optimales de cellules de terrain;
- confirmer ou infirmer s'il est possible de simuler des précipitations afin d'acquérir des résultats plus rapidement, c'est-à-dire en moins de deux ans d'essais;
- confirmer qu'il est possible d'atteindre des concentrations d'équilibre à partir d'essais *in situ*;
- démontrer s'il est possible de simuler une halde à stériles d'une trentaine de mètres de hauteur (par exemple), en recirculant l'eau de pluie à plusieurs reprises dans les cellules de terrain;
- connaître les conséquences de l'altération des roches utilisées pour les essais.

**Retombées escomptées**

S'il est démontré que l'on peut simuler quelles seront les concentrations maximales à l'équilibre des eaux de drainage en contact avec des rejets miniers par des essais à plus petites échelles et dans un temps raisonnable, on améliorera alors grandement la qualité de la prédiction du drainage.

Les compagnies minières posséderont des résultats pour mieux prédire les besoins en traitement des eaux pendant l'opération et de mieux planifier le type de restauration à mettre en place à la fin de la vie de la mine. Pour les autorités, le fait d'atteindre les concentrations maximales dans les eaux représente le pire cas qui pourrait survenir si la compagnie ne mettait en place aucune mesure d'atténuation.

**Partenaires du projet**

- Troilus Gold

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 299 562 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Carl Guillemette](#), Université Laval

### **Objectif**

Nous proposons un projet de recherche en partenariat avec la Direction générale de géologie Québec (DGGQ) visant à tester et à améliorer un modèle géodynamique qui expliquerait et prédirait la localisation des gisements de métaux de base, précieux, critiques et stratégiques dans le contexte du Grand Nord québécois.

Le projet proposé a pour objectifs de :

1. Caractériser des structures lithosphériques héritées dans le Supérieur;
2. Détecter le prolongement de leur structure dans la chaîne de montagnes résultante, appelée Orogène de l'Ungava;
3. Caractériser leur influence sur l'évolution de l'Orogène de l'Ungava;
4. Caractériser leur influence dans la formation des gisements par leurs actions sur la mobilisation des métaux et des volatiles;
5. Valider leur corrélation spatiale et temporelle avec la distribution des ressources en métaux de base, précieux, critiques et stratégiques.

### **Résultats attendus**

Le programme de recherche proposé génèrera de nombreuses données géologiques pour une région peu étudiée du Québec. Ces données seront présentées au congrès (Québec Mines, PDAC, GAC-MAC), puis mises à la disposition du public par l'entremise du Système d'Information GÉOMinière (SIGEOM) du MRNF, alors que les interprétations seront exposées dans les thèses des étudiants et dans des articles scientifiques publiés dans des journaux internationaux (3 articles par Ph. D., 1 par M. Sc.).

L'interprétation des données permettra de définir de nouveaux métallotectes dans le Grand Nord du Québec et constituera un incrément considérable dans la compréhension de l'évolution tectonique de la région, bonifiant les efforts de la DGGQ. La méthodologie utilisée pour la définition de ces métallotectes est novatrice et sera exportable à d'autres régions du Québec.

### **Retombées escomptées**

La définition de nouveaux métallotectes pour les métaux de base, précieux, critiques et stratégiques dans le Grand Nord du Québec influencera grandement les efforts de l'industrie de l'exploration minérale en ciblant des zones d'extension spatiale limitée, augmentant son efficacité, réduisant ses coûts et limitant son empreinte sur l'environnement fragile de la région.

Ces nouveaux métallotectes pourront engendrer des découvertes qui permettront d'augmenter la production du Québec en métaux de base, précieux, critiques et stratégiques et d'assurer sa place de chef de file international dans l'exploration pour de telles ressources.

### **Partenaires du projet**

- 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.**

## *Développement d'un bioprocédé innovant pour le traitement des eaux de drainage des tourbières pour réduire la nuisance environnementale*

**Chercheur responsable :** [Habib Horchani](#), Cégep de Rivière-du-Loup

### **Objectif**

L'objectif principal de ce projet consiste donc à développer un procédé de traitement des eaux de drainage par biofiltration en utilisant des champignons et des enzymes immobilisés sur des matrices à bon marché (biochar ou perlite).

Les objectifs particuliers du projet sont :

- 1) Sélectionner des enzymes et des champignons efficaces pour le traitement des eaux de tourbières;
- 2) Immobiliser des enzymes et développer des biofilms de champignons sur des matrices à bon marché;
- 3) Optimiser les conditions de dégradation des composés aromatiques contenus dans les eaux de tourbières à l'échelle du laboratoire;
- 4) Élaborer un prototype de biofiltration pour des essais d'abattement de la matière en suspension (MES) sur des sites de tourbières.

### **Résultats attendus**

Nous visons à livrer aux industriels une formulation de biofiltres à base de perlite ou de biochar sur lesquels des enzymes ou des champignons sont fixés. Différents types de biofiltres seront testés dans le cadre de l'enlèvement et de la dégradation des matières récalcitrantes dans les bassins de sédimentation. La formulation la plus efficace dans le captage et la dégradation des matières organiques aromatiques sera livrée et appliquée pour réduire les répercussions environnementales de la récolte de la tourbe sur les milieux liquides récepteurs.

Cette nouvelle technologie de traitement offrira plusieurs avantages :

- 1) Enlèvement des contaminants organiques et inorganiques par un traitement physicochimique utilisant un filtre à moindre coût (biochar, perlite);
- 2) Dégradation simultanée des contaminants aromatiques en produits non toxiques et simples (eau et dioxyde de carbone);
- 3) Mise en valeur d'une matière résiduelle non exploitée dans la région (les perlites fines et le biochar produits en grande quantité et considérés comme résidus problématiques);
- 4) Réduction du coût du traitement, car l'immobilisation des enzymes sur des matrices permettra la protection de leurs sites actifs et, par conséquent, leur réutilisation dans plusieurs cycles de traitement.

### **Retombées escomptées**

La participation de l'APTHQ garantit un transfert des résultats qui auront des retombées directes pour les partenaires. D'ailleurs, un atelier de transfert technologique sera prévu avec le comité scientifique de l'APTHQ durant et à la fin du projet.

### **Partenaires du projet**

- Association des producteurs de tourbe horticole du Québec

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 300 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

## **Optimisation de la production électrique sur les sites miniers par hybridation pneumatique des génératrices diesel**

**Chercheur responsable :** [Adrian Ilinca](#), Université du Québec à Rimouski

### **Objectif**

Objectif principal : contribuer à une réduction importante de la consommation de carburant et des émissions de GES par l'optimisation du fonctionnement des génératrices diesel en utilisant l'hybridation pneumatique ainsi que la récupération et le stockage de l'énergie.

Objectifs particuliers :

- 1) Développer des modèles précis de moteurs diesel fonctionnant avec l'hybridation pneumatique en utilisant des logiciels commerciaux (GT Power);
- 2) Modifier le système de suralimentation d'un équipement chez le partenaire industriel (génératrice diesel), ajouter des capteurs et un système d'acquisition de données afin de construire un banc d'essai pour évaluer les performances de l'hybridation pneumatique;
- 3) Recueillir et analyser les données sur la production d'électricité sur un site minier typique à l'aide de génératrices diesel et déterminer le potentiel de réduction de consommation à l'aide de l'hybridation pneumatique;
- 4) Évaluer la consommation de carburant et la réduction des émissions de GES. Déterminer la faisabilité technique, économique et environnementale du déploiement à grande échelle de la technologie pour les exploitations minières.

### **Résultats attendus**

Les dépenses en énergie représentent environ 20 % des budgets d'exploitation dans les mines et le succès de ce projet permettra de réduire substantiellement ces dépenses en plus d'avoir des effets bénéfiques pour l'environnement. La technologie proposée dans ce projet peut réduire de 20 à 60 % la consommation de carburant des génératrices diesel par l'utilisation de l'hybridation pneumatique.

La principale innovation de ce projet est l'utilisation d'un stockage dans des batteries à la place d'un stockage dans de grands réservoirs de l'air comprimé, une solution technique plus facile d'application dans le contexte d'opérations minières.

Les résultats des travaux de recherche contribueront grandement à développer une solution optimisée, économique, modulaire et réutilisable sur d'autres sites, particulièrement pour les mines, et ce, dès la fin du projet proposé, dans trois ans. Le projet apportera des bénéfices sur les plans financier, stratégique et environnemental pour les partenaires et le Québec en général.

### **Retombées escomptées**

L'un des avantages des technologies proposées est qu'elles sont prêtes à être mises en œuvre dans l'industrie et à être adoptées par le marché d'ici trois à cinq ans. Si les évaluations préliminaires sont démontrées, cela se traduira par une réduction de la consommation de carburant de 15 à 60 % pour la production d'énergie électrique dans les sites miniers.

### **Partenaires du projet**

- Mines Agnico-Eagle

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Nassima Kemache](#), Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue

### **Objectif**

Le projet consiste à étudier, à l'échelle du laboratoire, les performances d'un ensemble d'approches hydrométallurgiques couplées à des méthodes de prétraitement innovantes en amont de la lixiviation et susceptibles d'améliorer les rendements d'extraction du magnésium, tout en minimisant les conséquences environnementales.

À cet effet, cinq objectifs particuliers sont établis :

1. Réduire la consommation énergétique en intégrant les hautes puissances pulsées (HPP) dans le circuit de broyage et l'utilisation des micro-ondes pour l'étape de calcination de la dolomite;
2. Évaluer l'efficacité d'un procédé hydrométallurgique sous pression et comparer avec un procédé de lixiviation à pression atmosphérique;
3. Déterminer et tester les méthodes de purification et d'extraction sélective du magnésium à partir des lixiviats;
4. Étudier le potentiel de séquestration du CO<sub>2</sub> généré à l'étape de la calcination classique de la dolomite;
5. Effectuer une modélisation et une étude technico-économique des procédés de broyage, de traitement thermique et du procédé hydrométallurgique.

### **Résultats attendus**

1. Réduction de la consommation énergétique en intégrant la fragmentation par de hautes puissances pulsées (HPP).
2. Mise au point d'un meilleur procédé de traitement thermique permettant la production de la dolomite calcinée dans des conditions de basse température et basse consommation énergétique.
3. Meilleure compréhension de l'effet des conditions opératoires sur la cinétique de lixiviation sous-pression du Mg et sur l'efficacité des acides organiques.
4. Intégration d'un procédé de carbonatation minérale du calcium pour séquestration de CO<sub>2</sub> généré lors de la calcination sous forme de carbonate de calcium, un produit à valeur ajoutée.
5. Évaluation techno-économique sommaire des procédés envisagés ainsi qu'une analyse ACV.

### **Retombées escomptées**

1. Démontrer la faisabilité technique d'un ensemble de technologies moins énergivores et des procédés hydrométallurgiques d'extraction du Mg à partir de la dolomite, plus efficaces.
2. Générer des données techniques et accompagner le partenaire industriel dans le choix de solutions écoresponsables, lui facilitant ainsi l'acceptabilité sociale de son projet.
3. Retombées économiques notables pour la région de la Côte-Nord en créant de nouveaux emplois et en dynamisant l'économie locale.

### **Partenaires du projet**

- Dolomite International inc.

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 300 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Damase Khasa](#), Université Laval

### **Objectif**

Le projet a pour objectif de développer, sur le site Aldermac, un modèle *in situ* innovateur de biorestauration par filtration phytobienne (plantes-microbes-sols) de drainage minier acide (DMA), y compris un système de phytocontrôle hydraulique en amont et un système de marais filtrant en aval permettant de réduire considérablement les contaminants relâchés dans l'environnement par les fuites des structures de restauration déjà en place sur les sites miniers générateurs d'acides.

Les sous-objectifs particuliers sont :

- 1) Caractériser les propriétés physicochimiques et les microbiomes telluriques du site Aldermac à DMA;
- 2) Cribler des variétés de plantes et de microsymbiotes acidophiles ou acido-tolérantes;
- 3) Évaluer la performance précoce des systèmes de bioremédiation mis en place dans différentes conditions de sols favorisant la biofiltration;
- 4) Évaluer la dynamique spatiotemporelle des microbiomes telluriques;
- 5) Coordonner, communiquer et disséminer les résultats et transmettre l'information générée par le projet aux utilisateurs (industrie et gouvernement).

### **Résultats attendus**

- 1) Caractérisation et sélection des différentes variétés de plantes et de microbes acidophiles ou acido-tolérantes.
- 2) Évaluation de la dynamique spatiotemporelle des microbiomes telluriques des systèmes biorestoreurs à l'aide d'outils génomiques.
- 3) Développement d'une technologie novatrice de biorestauration de DMA efficace avec itinéraires techniques d'implantation.
- 4) Accroissement de la recherche et de la formation de nouvelles compétences et expertises scientifiques et technologiques en phyto- et bioremédiation des sites miniers à DMA.

Les technologies pourront être transposables au Canada et à l'étranger, puisque ce problème de DMA est mondial. Cette technologie novatrice permettra à Viridis Terra Innovations d'accélérer son développement et d'augmenter ses avantages concurrentiels avec de nouveaux produits et services à offrir à ses clients du secteur minier.

### **Retombées escomptées**

Les résultats de ce projet seront adoptés et permettront aux ministères d'élaborer des politiques appropriées de croissance propre dans les secteurs des ressources naturelles.

En matière de retombées sociales et économiques, nous évaluons le marché potentiel canadien de bioremédiation minière à plus de 5 milliards de dollars d'ici les 20 prochaines années.

### **Partenaires du projet**

- Viridis Terra Innovations inc.
- Ministère des Ressources naturelles et des Forêts
- Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Utilisation de bio-intrants en restauration écologique des sites miniers ferrifères : essais de démonstration en milieu nordique québécois au Canada**

**Chercheur responsable :** [Damase Khasa](#), Université Laval

### **Objectif**

Le projet a pour objectif d'utiliser les bio-intrants en restauration écologique des sites miniers ferrifères. L'objectif général est de tester et d'optimiser la technologie de restauration phytobienne sur des sites miniers ferrifères en milieu nordique.

Sous-objectifs :

1. Caractériser génétiquement et sélectionner les écotypes d'espèces ligneuses clés de la toundra arctique et alpine pour la restauration écologique des sites perturbés par l'exploitation minière;
2. Évaluer la performance précoce du bioproduit Phytobiomix, des inoculants microbiens et des systèmes agroforestiers en plantations mixtes;
3. Évaluer la dynamique spatiotemporelle du bioproduit Phytobiomix, des inoculants microbiens sur le rhizomicrobiome;
4. Coordonner, communiquer et assurer des activités de transfert de connaissances, de savoir-faire et d'expertise, partagées avec les partenaires du milieu.

### **Résultats attendus**

1. Un bioproduit (Phytobiomix) et un consortium d'inoculum synthétique pour l'inoculation des espèces ligneuses clés de la toundra.
2. Des données scientifiques fiables pour la migration assistée des écotypes pour améliorer la végétalisation des sites miniers perturbés en milieu nordique dans le contexte des changements climatiques.
3. Un itinéraire technique fiable pour la restauration écologique des sites miniers ferrifères en climat nordique difficile.
4. Des outils génomiques pour l'analyse du microbiome tellurique et la biosurveillance des inoculants microbiens pour évaluer leur performance spatio-temporelle.
5. Les résultats de cette recherche seront utilisés dans trois ans par les partenaires industriels et les autres compagnies environnementales.

### **Retombées escomptées**

La diffusion et le transfert des connaissances **aux** utilisateurs potentiels des résultats de la recherche (MRNF, secteur privé, communautés locales) **contribueront** notablement à la prospérité économique du Québec et à son rayonnement à l'échelle nationale et internationale en ce qui a trait aux technologies vertes.

### **Partenaires du projet**

- Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
- Minerai de fer du Québec
- Viridis Terra Innovations inc.
- T2 Environnement
- Tata Steel Minerals Canada ltée

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Sélection des espèces ligneuses boréales à architecture racinaire traçante pour végétaliser et assurer la durabilité des recouvrements étanches de géomembranes des sites à drainage minier acide**

**Chercheur responsable :** [Damase Khasa](#), Université Laval

### **Objectif**

Le projet a pour objectif d'étudier la génétique de l'architecture racinaire pour sélectionner les meilleurs idéotypes à traits racinaires superficiels en vue d'achever les travaux de végétalisation avec des espèces ligneuses dont les racines ne détruisent pas les infrastructures d'ingénierie civile.

Les sous-objectifs particuliers sont :

1. Cribler des espèces boréales ligneuses feuillues et conifériennes à architecture racinaire traçante en conditions optimales de culture semi-hydroponique;
2. Évaluer les effets de la densité de plantations monospécifiques et interspécifiques;
3. Évaluer les effets d'amendements des technosols, du régime hydrique et de la mycorhization sur l'architecture racinaire;
4. Tester et évaluer dans des conditions réelles au champ les meilleurs idéotypes à architecture racinaire traçante et coordonner, communiquer ainsi que transmettre les résultats et l'information générés à toutes les parties prenantes.

### **Résultats attendus**

1. Différentes provenances d'espèces ligneuses boréales performantes à architecture traçante sont sélectionnées pour la végétalisation des sites à DMA.
2. Des outils génomiques sont développés pour analyser les microbiomes telluriques et la biosurveillance des inoculants microbiens pour évaluer leur performance spatio-temporelle.
3. Une technologie novatrice qui allie le génie végétal et le génie civil, ou éco-ingénierie, est améliorée pour la première fois au Québec et au Canada pour la restauration écologique des sites miniers à DMA tout en luttant contre les émissions de gaz à effet de serre (stockage du carbone).
4. Le fonctionnement complexe d'un écosystème de DMA est mieux compris en vue d'améliorer la productivité et la durabilité des infrastructures complémentaires mises en place.

### **Retombées escomptées**

Dépollution de l'eau et des sols des sites miniers à DMA. Le projet permettra aussi de restreindre la propagation de contaminants contribuant ainsi à l'atteinte des objectifs 2026 du MELCCFP de réduction annuelle des rejets libérés dans l'environnement. Les systèmes de biorestauration stockeront du carbone dans le sol et la biomasse ligneuse, soutenant l'atteinte des objectifs 2026 de réduction annuelle des émissions de GES et de restauration des services écosystémiques.

### **Partenaires du projet**

- Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
- Ministère des Ressources naturelles et des Forêts
- Viridis Terra Innovations inc.

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable** : Dominic Larivière, Université Laval

### **Objectif**

Le projet porte sur une meilleure compréhension de la radioactivité et de sa perception dans le contexte de l'exploitation des éléments de terres rares (ETR). Afin de relever ces défis, nous proposons quatre axes complémentaires de recherche qui s'orienteront vers :

- Axe A : L'évaluation du devenir et de la mobilité des radionucléides d'origine naturelle (RON) dans un contexte de traitement et de transformation du minerai d'ETR;
- Axe B : La détermination des facteurs d'acceptabilité sociale associés à l'exploitation des ETR;
- Axe C : L'analyse de la réglementation et des bonnes pratiques à développer pour une prise en compte adéquate des répercussions sociales et environnementales associées aux RON;
- Axe D : L'établissement de stratégies de sensibilisation et d'éducation associé aux RON en lien avec les travaux des axes A à C.

### **Résultats attendus et retombées escomptées**

Les recherches effectuées dans le cadre de l'axe A permettront de mettre en lumière les effets réels des RON, jusqu'ici relativement inconnus, dans un contexte d'exploitation des ETR en territoire québécois. Cela se fera par la compréhension des étapes clés altérant les teneurs en RON lors du traitement/transformation des minerais et la production de données de mobilité géochimique et de biodisponibilité des RON dans les rejets/résidus.

L'axe B permettra d'obtenir une compréhension multiniveau (provinciale, locale et autochtone) de la perception du public liée à l'exploitation des ETR et de la gestion des RON dans le respect de l'environnement et de l'acceptabilité sociale. Cela s'effectuera en documentant la perception associée à plusieurs niveaux (provincial, local et autochtone) et en analysant les différences entre ces niveaux.

Finalement, les travaux de l'axe C favoriseront l'adéquation de la réglementation et des bonnes pratiques juridiques pour la réalisation de projets d'ETR au Québec par l'élaboration de stratégies de mitigation et de mesures volontaires de gestion des risques radiologiques.

De ces travaux émergeront également des stratégies, des activités et des outils de sensibilisation adaptés à la réalité minière et sociétale québécoise (Axe D).

L'ensemble de ces retombées bénéficieront à tous les projets d'ETR en sol québécois et permettront au Québec d'atteindre les objectifs ciblés par sa vision stratégique du développement minier sur son territoire.

### **Partenaires du projet**

- Torngat Metals Ltd

**Durée du projet** : 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet** : 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Valorisation des matériaux argileux et leur intégration comme matériaux de construction dans les ouvrages miniers**

**Chercheur responsable :** [Abdelkabir Maqsoud](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

**Objectif**

Deux principaux objectifs sont visés dans ce projet, à savoir le conditionnement des formations argileuses et leur valorisation. Le conditionnement des formations argileuses viserait à minimiser, voire éliminer les effets engendrés par les variations des conditions climatiques et passera par leur amendement et par l'optimisation de leurs propriétés intrinsèques. Quant à leur valorisation, ces matériaux seront testés en vue de leur intégration comme matériaux de construction d'ouvrages miniers.

Ainsi, l'atteinte de ces objectifs principaux passe par la réalisation des trois objectifs suivants :

- 1) Amendement des formations argileuses et évaluation de la performance des mélanges;
- 2) Évaluation au laboratoire de la capacité des recouvrements à base d'argile à limiter le flux d'oxygène;
- 3) Évaluation sur le terrain de la performance des recouvrements à base d'argile et leur capacité à empêcher la production du drainage minier acide.

**Résultats attendus**

La Fonderie Horne doit finaliser ses plans de restauration et de développement. Les avancées qui seront faites dans le cadre de ce projet pourraient être appliquées directement sur ses sites miniers afin de les réhabiliter.

Ces développements pourraient réduire les coûts liés à la restauration des sites miniers. De plus, la valorisation des matériaux argileux avec les rejets miniers pourrait éventuellement contribuer à développer de nouvelles techniques de recouvrement et ainsi faire bénéficier divers intervenants.

Ces travaux permettront de mieux concevoir les modes de restauration, d'améliorer leur performance à long terme et ainsi d'améliorer l'environnement situé à proximité des sites restaurés grâce aux différentes techniques développées.

**Retombées escomptées**

Ultimement, les nouvelles connaissances qui seront acquises dans le cadre de ce projet seront transférées au partenaire industriel sous forme de propositions pratiques (par des articles de revues scientifiques, des conférences et des cours de formation continue) de même qu'aux gestionnaires de sites miniers restaurés que sont les compagnies minières et le MRNF (pour les sites abandonnés) qui auront accès à ses connaissances par leur publication dans les revues et leur présentation dans les conférences.

Les résultats seront directement applicables à divers sites miniers en Abitibi-Témiscamingue et dans le nord du Québec. Les travaux proposés dans ce projet seront utiles aux compagnies minières canadiennes qui se heurtent à des problèmes de gestion et d'utilisation des argiles, aux consultants qui doivent proposer des solutions et aux ministères qui doivent gérer les sites abandonnés générateurs de drainage contaminé.

**Partenaires du projet**

- Fonderie Horne

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 265 176 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Abdelkabar Magsoud](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

### **Objectif**

Ce projet de recherche vise à concevoir un système de restauration efficace pour le site Quémont 2, tout en valorisant les matériaux issus du traitement des minerais en les intégrant comme matériaux de recouvrement et dans des procédés industriels.

L'atteinte des objectifs passe par la réalisation de quatre objectifs particuliers qui sont :

1. Compréhension des phénomènes d'écoulement et de transport au sein du site Quémont 2;
2. Modélisations physiques des recouvrements conçus à l'aide de matériaux issus du traitement métallurgique;
3. Restauration des digues ceinturant les sites Quémont à l'aide de la modélisation physique;
4. Valorisation des scories comme liant pour la stabilisation des résidus ou le remblayage.

### **Résultats attendus**

La conception de systèmes de restauration efficaces et la valorisation des rejets métallurgiques permettront un gain économique pour la Fonderie Horne. Ce gain sera réalisé en réduisant les coûts liés à l'acquisition des matériaux de construction du recouvrement. De la même façon, la valorisation des matériaux issus des traitements métallurgiques dans les procédés industriels constituera également une source de revenus. De ce fait, ce projet aura des retombées importantes sur le plan économique pour le partenaire industriel.

### **Retombées escomptées**

Peu de travaux de recherche ont été consacrés à la problématique liée à la restauration des sites d'entreposage des rejets métallurgiques. Les résultats seront directement applicables à d'autres sites métallurgiques au Québec et au Canada. Les travaux proposés dans ce projet seront utiles aux compagnies minières québécoises qui font face aux problèmes de gestion et de valorisation des rejets métallurgiques, aux consultants qui doivent proposer des solutions et aux ministères qui doivent gérer les sites abandonnés générateurs de drainage minier acide.

### **Partenaires du projet**

- Fonderie Horne

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Réduction de l'empreinte environnementale des sites miniers par l'amélioration et l'adaptation des approches de modélisation hydrogéologique : cas du site minier St-Lawrence Columbiium**

**Chercheur responsable :** [John Molson](#), Université Laval

### **Objectif**

L'objectif général de ce projet est d'optimiser l'utilisation de modèles hydrogéologiques 3D dans le cadre de la réalisation de restauration minière ou de plans de restauration, particulièrement pour les sites présentant des excavations souterraines pour lesquels peu de données sont disponibles (géométrie, localisation). Le projet vise à fournir des outils décisionnels quant aux approches de modélisation à adopter et à l'ampleur des travaux d'investigation hydrogéologique et géomécanique associés pour atteindre un degré élevé de confiance dans les simulations prédictives d'un modèle 3D hydrogéologique, respectant la réalité des partenaires impliqués dans la restauration de sites miniers.

- Le premier objectif de ce projet est de déterminer les approches possibles pour remédier à l'incertitude des caractéristiques des excavations souterraines lors de la réalisation d'un modèle hydrogéologique 3D.
- Le second objectif consiste à vérifier si ces approches exercent une influence ou reproduisent avec une précision acceptable les conditions d'écoulement souterrain, les conditions de transport observées au site en quantifiant leur incertitude respective et la variabilité des résultats obtenus.
- Le troisième objectif sera d'établir une série d'approches pour intégrer efficacement le transport réactif de métaux et d'éléments radioactifs dans les simulations prédictives d'un modèle hydrogéologique 3D.
- Le quatrième objectif, important dans une perspective de développement durable de la restauration de sites miniers, est de fournir un cadre structuré pour intégrer les effets des changements climatiques dans les simulations prédictives.
- Un cinquième objectif portera sur la mise en valeur du modèle hydrogéologique 3D comme outil d'identification des zones sensibles du site en matière d'incertitudes et comme outil d'optimisation d'un système de suivi efficace des travaux de restauration.

### **Résultats attendus**

Ce projet vise donc à fournir des outils pratiques, simplifiés et adaptés à l'industrie, pour la réalisation de modèles hydrogéologiques intégrant l'incertitude des caractéristiques des excavations, le transport réactif de contaminants (métaux et éléments radioactifs) et les effets des changements climatiques pour les simulations prédictives.

### **Retombées escomptées**

Une retombée importante de ce projet est qu'il fournira un outil décisionnel et des approches standardisées réalistes à l'industrie pour l'élaboration de modèles hydrogéologiques 3D dans un contexte de restauration minière. L'optimisation et la simplification des approches de prédiction et de prévention de transport de contaminants et des effets des changements climatiques feront partie de ces approches standardisées et réalistes.

### **Partenaires du projet**

- WSP Canada

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 228 600 "\$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Philippe Morissette](#), Université Laval

### **Objectif**

L'objectif primaire du projet de recherche proposé est d'accroître le niveau de compréhension de la sismicité minière et du comportement des massifs rocheux soumis à un degré élevé de contraintes. Par l'accroissement des connaissances, le projet vise à contribuer à l'amélioration des pratiques en gestion de la sismicité dans les mines profondes québécoises.

- Le premier objectif particulier de ce projet consiste à développer une méthodologie de regroupement statistique des événements sismiques permettant de caractériser le niveau d'aléa et son évolution dans le temps pour des secteurs distincts d'une mine profonde.
- Le second objectif particulier consiste à améliorer l'intégration de la sismicité dans l'expansion spatiale des modèles de géologie structurale. Par exemple, une distribution spatiale planaire de la sismicité peut suggérer la présence ou confirmer l'étendue de structures géologiques telles que des dykes, des failles ou des zones de cisaillement. Les données sismiques, dans une opération minière, ne sont pas employées à leurs pleines capacités à cet effet.
- Le troisième objectif particulier consiste à caractériser l'influence des activités de minage sur le niveau d'aléa sismique des différents regroupements identifiés grâce aux travaux du premier objectif spécifique.
- Finalement, le quatrième objectif particulier consiste à quantifier l'évolution du niveau de contraintes pour différents regroupements d'événements sismiques répertoriés d'après le premier objectif spécifique. Améliorer la compréhension de l'évolution du degré de contraintes dans des populations d'événements sismiques distinctes permettrait de contribuer à une caractérisation plus précise du niveau d'aléa sismique et de mieux comprendre les mécanismes à l'origine de la sismicité dans différents secteurs d'une opération minière. Cette distinction spatiale dans la caractérisation de la sismicité est pertinente, puisque l'exposition du personnel minier est également variable dans le temps et dans l'espace.

### **Résultats attendus**

Ce projet améliorera la compréhension des mécanismes générateurs de sismicité et du niveau d'aléa sismique dans les mines profondes. Des outils informatiques seront développés permettant de systématiser le suivi de l'évolution de l'aléa sismique dans le temps et dans l'espace. Ces derniers pourront influencer positivement la planification des opérations minières. Les recommandations de ces études seront directement applicables en industrie.

### **Retombées escomptées**

De ce projet de recherche découlera un enrichissement du savoir-faire québécois dans le domaine minier et la formation de personnel hautement qualifié (1 postdoctorante, 1 Ph. D., 2 M. Sc.) dont il y a un besoin criant en industrie. Les retombées escomptées incluent l'amélioration de la sécurité des travailleurs miniers et de la viabilité économique des opérations minières à grande profondeur.

### **Partenaires du projet**

- Mines Agnico-Eagle

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 364 922 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Catherine Mulligan](#), Université Concordia

### **Objectif**

Les objectifs principaux sont :

1. Évaluer le prétraitement à l'aide de microbulles d'ozone;
2. Étudier l'application potentielle du procédé PN/Anammox pour l'enlèvement simultané des contaminants à base d'azote d'eaux minières aurifères;
3. Évaluer la faisabilité de la technologie de l'osmose à pression réduite (PRO) pour le traitement des effluents miniers au Québec en concevant et en construisant un système de test osmotique permettant de combiner le potentiel de production énergétique avec le procédé PN/Anammox pour les eaux salines;
4. Renforcer la collaboration entre les industries minière et hydraulique et le milieu universitaire.

### **Résultats attendus**

Le développement de la technologie à base de PN/Anammox dans le cadre de ce projet est l'un des principaux efforts visant à traiter l'azote durablement et économiquement des eaux usées des mines d'or au Québec, car il permet de réduire considérablement la consommation d'énergie et la production de matériaux résiduels solides, ce qui contribue à l'utilisation durable des ressources naturelles.

Les produits livrables comprendront :

1. L'application potentielle d'un système de traitement innovant à base de PN/Anammox et d'un processus PRO pour les eaux minières usées à salinité élevée;
2. La détermination de facteurs importants influençant la performance et le fonctionnement du système de traitement développé;
3. L'évaluation technique, environnementale, sociale et économique de ce processus en vue de son intégration dans le traitement des eaux usées sur les sites des mines d'or;
4. La création de futures collaborations entre les chercheurs de l'entreprise et de l'université et la formation de PHQ (stagiaires de 1<sup>er</sup> cycle, maîtrises, doctorat et stagiaire postdoctorant) pour les emplois futurs dans l'industrie minière.

### **Retombées escomptées**

Les systèmes de traitement de l'eau permettront aux sociétés minières de réduire leurs coûts, d'améliorer le potentiel de réutilisation de l'eau, de protéger l'environnement ainsi que d'améliorer leurs pratiques environnementales et leur image publique. Ces orientations de recherche favoriseront une approche intégrée pour comprendre le lien eau-énergie et créeront une base d'innovation et de prépondérance capable de favoriser les partenariats avec l'industrie et d'autres intervenants, au Québec, au Canada et à l'étranger.

### **Partenaires du projet**

- Mines Agnico-Eagle
- BioCAST Systems

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

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

### **Objectif**

Ce projet vise à intégrer des antennes intelligentes flexibles corporelles dans les vêtements de protection des mineurs afin d'établir un lien de communication avec les autres mineurs et le centre de commande en surface par des surfaces réfléchissantes intelligentes (meilleure couverture radio dans les mines profondes) d'une part et, d'autre part, de fournir des renseignements sur les paramètres de santé et d'environnement minier.

Les principaux sous-objectifs sont :

- 1) Concevoir et réaliser de nouvelles topologies d'antennes intelligentes portables (WBAN) 5G dans la bande millimétrique pour l'amélioration de la largeur de bande et l'efficacité du rayonnement;
- 2) Concevoir et réaliser de nouvelles surfaces électromagnétiques (SEM) capables de relayer le signal d'une zone visibilité directe (LOS, *Line-of-Sight*) à une zone NLOS;
- 3) Évaluer les performances du canal de communication WBAN minier sans fil quant à l'affaiblissement de trajet, de la corrélation, de la capacité, au gain et à l'efficacité spectrale moyenne dans la bande millimétrique 28 GHz.

### **Résultats attendus**

Le développement de la technologie WBAN-5G, adaptée aux mines profondes, est considéré comme unique par rapport aux autres solutions de communication pour la connectivité dans de tels environnements exigeants où des opérations continues et une surveillance étroite des processus sont primordiales.

De ce fait, les antennes seront intégrées dans le vêtement du mineur et toutes les données traitées dans une boîte électronique portable et transmises au centre de commande par les stations de base. Les antennes intégrées dans les vêtements pourraient fonctionner comme un système de communication corporel (WBAN) capable de communiquer et de surveiller les paramètres d'environnement et de santé (très utile pour la sécurité des mineurs). Ainsi, le système proposé peut surveiller différents paramètres, ce qui peut déclencher automatiquement l'alarme lorsque les paramètres de l'environnement sont anormaux.

### **Retombées escomptées**

Ainsi, l'approche que nous proposons de développer, un système d'antenne portable intelligent, sera utile pour l'industrie minière québécoise parce qu'il devrait améliorer considérablement la productivité et la sécurité des mineurs et réduire le risque d'interruption et minimiser les temps d'arrêt pour un environnement hostile et dangereux.

### **Partenaires du projet**

- Meglab
- Télébec

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

***Développement de critères hydrogéotechniques et opérationnels pour améliorer la stabilité à long terme des haldes de roches stériles et des ouvrages miniers mettant en valeur les stériles***

**Chercheur responsable :** [Carlos Ovalle Ortega](#), Polytechnique Montréal

**Objectif**

L'objectif principal du projet est de développer des critères hydrogéotechniques et opérationnels afin d'augmenter la fiabilité des analyses du comportement à long terme des haldes de roches stériles, et des ouvrages de valorisation des stériles, tels que les digues des parcs à résidus miniers, les recouvrements et les systèmes de drainage et de renforcement dans les parcs à résidus miniers.

Les objectifs particuliers du projet sont les suivants :

1. Développer des méthodes de caractérisation hydrogéotechnique des roches stériles grossières, prenant en compte les effets d'échelle dans les propriétés, et leur dégradation due aux effets des conditions environnementales extrêmes;
2. Élaboration des critères opérationnels de sélection des roches stériles en fonction de leur objectif de valorisation (court et long terme);
3. Améliorer les modèles de comportement hydrogéotechniques, en prenant en compte les effets d'échelle et de dégradation des propriétés à long terme;
4. Afin d'analyser les risques et la fiabilité des ouvrages en roches stériles, développer des solutions analytiques et numériques pour décrire et prédire les effets du temps et de la dégradation à long terme sur la stabilité physique.

**Résultats attendus**

Les résultats du projet permettront le développement des critères hydrogéotechniques et des méthodologies adaptées pour caractériser des roches stériles au laboratoire, prenant en compte le comportement à long terme et les effets des changements climatiques. Ainsi, les résultats pourront être appliqués dans la phase opérationnelle d'une mine afin de mieux sélectionner les stériles en fonction de leur objectif de valorisation (opérationnel, remédiation, abandon, etc.). Finalement, les méthodes développées contribueront à améliorer la stabilité physique et à augmenter la fiabilité des analyses des risques à long terme des ouvrages en roche stériles, en réduisant les incertitudes dans la caractérisation de paramètres et dans les modèles prédictifs.

**Retombées escomptées**

Les retombées du projet permettront d'encourager nos partenaires industriels, et l'industrie minière en général, à valoriser les roches stériles dans des ouvrages de remédiation, de renforcement et de drainage, notamment pour améliorer la stabilité physique des parcs à résidus. Aussi, en augmentant la fiabilité des analyses prédictives du comportement à long terme, les projets pourront être optimisés pour être plus efficaces sur le plan économique et technique.

**Partenaires du projet**

- Rio Tinto Fer et Titane
- Iamgold
- Mine Canadian Malartic
- Mines Agnico Eagle Itée

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

## Gestion et restauration progressive des aires d'entreposage de résidus miniers filtrés générateurs de drainage minier acide

**Chercheur responsable :** [Thomas Pabst](#), Polytechnique Montréal

### **Objectif**

L'objectif de ce projet consiste à évaluer la possibilité de déposer des résidus potentiellement générateurs de drainage minier acide (DMA) sous forme filtrée dans les régions minières du sud du Québec (en particulier l'Abitibi). Des approches pratiques seront proposées afin de minimiser les risques de contamination du milieu environnant, tout en satisfaisant aux besoins et aux contraintes des opérations.

Les objectifs particuliers consistent ainsi à :

1. Évaluer les cinétiques de génération de DMA des résidus sulfureux filtrés pour des conditions environnementales réalistes (p. ex., climat, bilan hydrique *in situ*, teneurs en eau et porosités en place);
2. Optimiser la déposition de résidus filtrés potentiellement générateurs de drainage contaminé afin de maîtriser les phénomènes d'oxydation et donc les risques de contamination pendant les opérations;
3. Proposer et tester des approches de restauration progressive (p. ex., mélanges, couvertures);
4. Analyser les risques environnementaux associés à la gestion des résidus filtrés réactifs et proposer des outils d'aide à la décision.

### **Résultats attendus**

Évaluation du temps maximum d'exposition des résidus filtrés avant génération de DMA, critère (degré de saturation minimum) pour limiter la génération de DMA selon la minéralogie des rejets et les conditions de déposition, recommandations pratiques pour l'industrie afin de développer un plan de déposition des résidus filtrés réactifs (taux de déposition, épaisseur des couches, teneur en eau initiale, compaction), suggestion et validation d'approches de restauration progressive, analyse et gestion des risques environnementaux, intégration de la gestion et restauration dans les sites d'exploitation.

### **Retombées escomptées**

De plus en plus de mines déposent ou envisagent de déposer leurs résidus sous forme filtrée, pour toutes les raisons bénéfiques décrites plus haut, mais sans toujours avoir une bonne connaissance des risques géochimiques. Les résultats de ce projet seront donc particulièrement utiles pour tous les sites qui produisent des rejets générateurs de DMA. Le projet sera basé sur des sites réels, mais ses retombées seront bénéfiques pour l'ensemble de l'industrie et pour les ministères impliqués.

### **Partenaires du projet**

- Mines Agnico Eagle Itée
- Glencore, mine Raglan
- IAMGOLD, mine Westwood
- Mine Canadian Malartic
- Newmont Goldcorp — Les mines Opinaca

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

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

### **Objectif**

Notre récente étude d'intégration énergétique appliquée au procédé de carbonatation minérale avec les résidus de serpentine démontre qu'il est possible de réduire de 25 % les besoins énergétiques et les émissions associées de GES. Or, avec l'introduction d'une technologie complémentaire pour la valorisation du résidu riche en silice, l'efficacité énergétique du procédé globale devra être réévaluée et optimisée de nouveau.

Une solution consiste à développer un outil d'analyse exergetique. L'analyse exergetique est une méthode éprouvée qui permet de localiser les sources d'inefficacité énergétique dans un système et de déterminer les mages de manœuvres et les solutions pour l'améliorer. Outre l'intérêt pour ce procédé, il s'agira de l'étape de mise au point d'un programme polyvalent qui pourra également être utilisé par d'autres procédés miniers ou par d'autres industries d'intérêt afin de réduire leurs émissions de GES.

Les deux principaux objectifs de ce projet sont les suivants :

1. Valoriser le résidu de la carbonatation minérale avec la production de nanoparticules de silice et des carbonates de soude;
2. Développer un outil d'analyse de l'énergie capable de déceler les sources d'inefficacité énergétique du procédé de carbonatation minérale et des procédés miniers et industriels en général.

### **Résultats attendus**

1. Détermination des cinétiques des différentes réactions chimiques.
2. Établissement de modèles thermodynamiques décrivant le système.
3. Mise en œuvre de l'analyse exergetique pour la réduction des émissions de GES.
4. Compréhension des mécanismes réactionnels mettant en œuvre les résidus solides riches en silice.

### **Retombées escomptées**

1. Développement d'un procédé efficace de réduction des GES pour le secteur minier et industriel.
2. Production des minéraux nécessaires au développement stratégique localement.
3. Amélioration des chances de valorisation des résidus miniers du Québec.
4. Accroissement des chances de commercialisation du procédé de carbonatation minérale.
5. Développement des connaissances approfondies en analyse exergetique et formation de la relève.

### **Partenaires du projet**

- Sigma Devtech

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Benoit Plante](#), Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

### **Objectif**

L'objectif de ce projet est de prédire l'atteinte des qualités d'eau visées à la suite de la restauration des parcs à résidus miniers oxydés générateurs de DMA et de proposer des solutions pour que ces qualités d'eau soient atteintes plus rapidement après leur restauration.

Les objectifs particuliers sont de déterminer les processus postrestauration responsables de la qualité du drainage, de leur ampleur et de leur durée :

- (1) à l'aide de modèles physiques au laboratoire;
- (2) par l'entremise du suivi d'un site oxydé nouvellement restauré;
- (3) grâce à l'utilisation de modélisations numériques de transport réactif, ainsi que proposer des solutions concrètes et réalisables à grande échelle pour accélérer l'atteinte des objectifs de qualité d'eau, d'une part en :
  - (a) stabilisant les oxydes afin de les empêcher de se dissoudre et, d'autre part,
  - (b) en accélérant leur dissolution.

### **Résultats attendus**

Les travaux permettront de caractériser en détail les minéraux secondaires instables pouvant produire des contaminants sur des sites restaurés, la détermination de leurs cinétiques de dissolution, la mise au point de méthodes permettant d'en freiner la dissolution ou d'en accélérer la dissolution afin d'atteindre les qualités d'eau souhaitées plus rapidement, ainsi que d'estimer les délais nécessaires à l'atteinte de ces qualités d'eau suivant les différents scénarios utilisés.

### **Retombées escomptées**

Les résultats de ce projet seront utiles pour restaurer tous les sites oxydés générateurs de drainage minier acide, qu'ils soient sous la responsabilité de compagnies minières ou abandonnés (sous la responsabilité du MRNF).

Ils permettront de mieux prédire la durée avant l'atteinte des qualités d'eau visées, ainsi que de proposer des approches novatrices et originales pour accélérer l'atteinte des objectifs de qualité d'eau. Cette meilleure prédiction de l'évolution de la qualité d'eau *in situ* à long terme permettra aux responsables des sites d'améliorer le design des méthodes de restauration, de cibler le système de traitement d'eau nécessaire ainsi que sa durée de vie utile.

### **Partenaires du projet**

- Mines Agnico-Eagle
- Ministère des Ressources naturelles et des Forêts

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 380 561 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Couplage d'un procédé électrochimique et de la distillation membranaire pour la production d'eau recyclable de haute qualité à partir d'eaux usées minières**

**Chercheur responsable :** [Saifur Rahaman](#), Université Concordia

**Objectif**

L'objectif principal sera de développer une solution nouvelle et durable pour produire une eau recyclable tout en récupérant les métaux des eaux usées minières. En raison de la nature multidisciplinaire du projet de recherche, les objectifs principaux s'alignent très étroitement sur les objectifs particuliers du programme, soit :

1. optimiser le processus hybride électro-précipitation (EP)-électrocoagulation (EC);
2. développer de nouveaux matériaux d'électrode pour le procédé EP;
3. fabriquer de nouveaux matériaux membranaires pour le procédé de distillation membranaire;
4. effectuer une évaluation technicoéconomique du processus combiné EP-EC-DM.

**Résultats attendus**

Les acteurs industriels seront certainement interpellés par les performances potentielles de ce procédé. En effet, ce dernier pourra :

1. éliminer et concentrer les métaux en vue de leur récupération ultérieure;
2. récupérer et réutiliser les eaux usées;
3. réduire la toxicité de l'ammoniac en l'éliminant;
4. Tirer parti de l'utilisation de l'énergie solaire, de la chaleur perdue ou de l'énergie géothermique pour réduire la consommation d'énergie.

**Retombées escomptées**

L'industrie minière au Québec est l'une des plus importantes au Canada, mais elle produit un grand volume d'eaux usées. Sans traitement approprié, ces eaux peuvent polluer les eaux de surface, les sols et endommager l'environnement. Le système proposé peut non seulement atténuer ce problème, mais également récupérer des métaux précieux et produire une eau de haute qualité. Après une démonstration réussie et l'obtention de la preuve du concept, les parties prenantes industrielles et les autorités gouvernementales seront informées des résultats du projet pour orienter son développement.

**Partenaires du projet**

- SNC Lavalin

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

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

### **Objectif**

Le but principal de ce projet est de développer de nouvelles connaissances pour faciliter l'évaluation du potentiel géothermique et économique des mines fermées aujourd'hui inondées, pour ainsi favoriser leur développement et améliorer les répercussions des activités minières sur les communautés. Pour y arriver, des fosses à ciel ouvert et des galeries souterraines du sud du Québec serviront de sites pilotes pour l'étude qui traitera trois objectifs scientifiques :

1. Mieux comprendre l'interaction entre les différents mécanismes de transfert de chaleur influençant la performance d'un système géothermique;
2. Cerner les risques environnementaux et opérationnels liés à la gestion de l'eau;
3. Définir l'intégration énergétique optimale des options d'exploitation disponibles localement, basée sur l'estimation des ressources géothermiques.

### **Résultats attendus**

Au terme de ce projet, un examen des facteurs influençant la faisabilité opérationnelle des systèmes géothermiques sur d'anciennes mines du sud du Québec permettra de répertorier les configurations possibles de systèmes géothermiques lors de la fermeture d'une fosse à ciel ouvert et d'un réseau de galeries souterraines.

Ensuite, le projet permettra d'inventorier les éléments clés à considérer pour une gestion durable des ressources géothermiques d'un site minier après son abandon et de l'effet à long terme de l'eau d'ennoyage sur l'environnement. De plus, différents scénarios de conception des systèmes géothermiques seront mis à l'essai dans le cadre des simulations d'activités de façon à proposer des améliorations technologiques et engendrer la planification d'un projet pilote dans une phase ultérieure.

Une méthode d'estimation du bilan thermique des mines à ciel ouvert et souterraines, applicable à toutes les mines inondées du Québec, sera développée pour estimer leur potentiel de façon pragmatique, mais réaliste.

Finalement, une évaluation du potentiel économique de l'énergie géothermique des mines sera réalisée, ce qui permettra aux propriétaires des sites miniers abandonnés d'offrir un argument économique concret à de potentiels utilisateurs.

### **Retombées escomptées**

Le projet permettra de démontrer l'efficacité d'avenues novatrices pour réaliser non seulement des économies d'énergie avec les ressources géothermiques issues d'anciens ouvrages miniers, mais surtout pour revaloriser des terrains et des infrastructures qui sont actuellement considérés comme de lourds passifs environnementaux.

### **Partenaires du projet**

- Société Asbestos ltée
- La Station du Chêne rouge
- Musée Historique des mines Capelton inc.
- Hatch Engineering

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

[Optimisation de la détection de gîtes de sulfures disséminés et massifs profonds par électromagnétisme de haute puissance et séparation des composantes inductives et de polarisation induite](#)

**Chercheur responsable** : [Marc Richer-Lafèche](#), Institut national de la recherche scientifique

### **Objectif**

Dans ce projet, nous voulons utiliser une variante de la technologie *Time Domain Electromagnetic* (TDEM) de très haute puissance avec de nouveaux algorithmes permettant de découpler les composantes de conductivité électrique et de chargeabilité électrique (CE) afin d'étudier le potentiel minéral à plus de 1 000 m dans les terrains du camp minier de Noranda.

### **Résultats attendus**

Nos travaux de recherche permettront de démontrer la possibilité d'utiliser cette technologie pour ausculter les parties profondes des camps miniers pour les minéralisations de sulfures disséminés (aurifères) ou massifs (p. ex., SMV). Les données pétrophysiques et géologiques serviront à valider ou à contraindre les modèles et les interprétations provenant de l'inversion des données TDEM.

L'étude devrait permettre de valider l'utilisation de la nouvelle méthode d'exploration dans un contexte de ceinture volcano-plutonique.

### **Retombées escomptées**

En ce qui concerne les partenaires du projet, nos travaux de recherche seront utiles pour améliorer les modèles géologique et stratigraphique afin de mieux comprendre le contexte géologique du secteur du lac Duprat (Rouyn-Noranda). En effet, dans ce secteur du camp de Noranda, les modèles sont généralement inférés à partir de données géologiques parcellaires et appliquées à de grands volumes de roches (séquence des mines).

Plus précisément, une distribution hétérogène de forages dans l'espace entraîne une grande imprécision des modèles géologiques et stratigraphiques. Les travaux proposés sont dans la suite logique des travaux réalisés dans le secteur du lac Duprat en 2018 dans le cadre de notre projet FRQNT-MRNF-MINES et d'un contrat de recherche de l'INRS réalisé pour Falco. Pour ces projets, nous avons réalisé de nombreuses sections audiomagnétotelluriques vectorielles sur le lac Duprat. Ces sections suggèrent la présence de structures d'altération et de conducteurs qui seront étudiées par la présente étude.

### **Partenaires du projet**

- Ressources Falco ltée

**Durée du projet** : 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet** : 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Mise en végétation écologique des sites miniers recouverts d'un matériau granulaire :  
Développement d'une méthode efficace et peu coûteuse**

**Chercheur responsable :** [Line Rochefort](#), Université Laval

**Objectif**

L'objectif général du projet est de réduire les conséquences environnementales liées aux activités minières en testant une nouvelle approche pour la restauration écologique des sites miniers localisés en région boréale.

Plus précisément, le projet sera divisé en deux volets :

1. Évaluer l'effet de la modification de la microtopographie et des amendements de sol sur les conditions édaphiques, microclimatiques et sur l'établissement de la végétation;
2. Étudier les croûtes biologiques « indigènes » de la région d'étude, soit :
  - a. déterminer les principaux facteurs environnementaux régissant la distribution des communautés naturelles de croûtes biologiques,
  - b. développer des méthodes de propagation *ex-situ* et comprendre l'effet des régies de cultures sur la composition des croûtes cultivées,
  - c. tester divers traitements pour favoriser le succès de l'établissement des croûtes cultivées dans un site minier restauré.

**Résultats attendus**

Ce projet de recherche permettra de déterminer l'efficacité de la méthode de restauration par R&L (*Rough & Loose*) pour la restauration de sites miniers localisés en climat boréal et subarctique en vue d'un retour des fonctions écosystémiques.

Une fois que les traitements les plus probants seront cernés, des protocoles de restauration (techniques préconisées, méthode de propagation des croûtes biologiques) seront décrits.

Le projet générera également des connaissances théoriques sur les filtres environnementaux régissant l'établissement de la végétation dans les écosystèmes perturbés et les facteurs explicatifs structurant les communautés végétales de croûtes biologiques. Ces connaissances permettront de mieux comprendre les processus de succession écologique en climat boréal et permettront de désigner les méthodes pour accélérer les processus naturels, dans un contexte de restauration écologique.

Finalement, grâce aux données financières que WSP possède pour des projets de végétalisation de sites miniers, il sera possible d'estimer le coût d'application de la méthode testée et de la comparer avec les méthodes traditionnelles.

**Retombées escomptées**

Ce projet engendrera des retombées positives pour l'environnement, puisqu'il atténuera les effets négatifs des activités minières en favorisant le retour d'un habitat naturel pour la faune et la flore, tout en réduisant l'érosion fluviale et éolienne.

Ce projet pourrait également permettre au MRNF de mettre à jour ses exigences réglementaires pour la végétalisation des mines localisées en zone boréale ou subarctique.

**Partenaires du projet**

- WSP Canada inc.
- Ministère des Ressources naturelles et des Forêts

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 343 224 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Développement de vecteurs des zones minéralisées des gisements d'or orogénique basés sur la chimie et la texture du quartz et de la tourmaline.**

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

**Objectif**

Le projet proposé a pour but de développer de nouveaux outils d'exploration basés sur la chimie et la texture du quartz et de la tourmaline qui serviront de vecteur pour tracer les zones minéralisées économiques et permettront d'évaluer le potentiel minéral d'un district. Ces nouveaux outils, en plus d'être performants, devront être facilement utilisables par les compagnies d'exploration minière.

Les objectifs propres à ce projet sont :

1. Caractériser les variations texturales et chimiques du quartz et de la tourmaline au sein des veines de quartz-carbonate-tourmaline sur deux propriétés présentant des minéralisations typiques d'or orogénique;
2. Lier ces variations en fonction de la teneur en or de ces veines ou de leurs distances des zones minéralisées;
3. Développer des vecteurs sur la base de critères chimiques et texturaux;
4. Valider les vecteurs sur des échantillons bien définis d'autres gisements d'or orogéniques de la région de Val-d'Or;
5. Évaluer la capacité d'utiliser des méthodes analytiques pouvant être automatisées et déployées à grande échelle sur des sites d'exploration comme la spectrométrie de fluorescence des rayons X (XRF) et la spectroscopie sur plasma induit par laser (LIBS) pour appliquer les vecteurs nouvellement développés.

**Résultats attendus**

Les résultats attendus de ce projet de recherche sont :

1. Le développement de nouveaux vecteurs d'exploration basés sur la texture et la chimie du quartz et de la tourmaline qui serviront à tracer les zones minéralisées économiques au sein des gisements d'or orogénique, et ainsi contribuer à évaluer le potentiel économique d'une propriété et d'un district;
2. L'application de ces nouveaux outils géochimiques à grande échelle et de façon automatisée et rapide sur des sites d'exploration actifs grâce aux technologies micro XRF et LIBS.

**Retombées escomptées**

Les nouveaux vecteurs développés offriront un avantage compétitif à l'industrie des ressources minérales du Québec, aux sociétés de services à l'industrie minière et aux agences gouvernementales, contribuant ainsi au rôle de meneur mondial du Québec dans le domaine.

**Partenaires du projet**

- Eldorado Gold (Québec) inc.
- Les Ressources Yorbeau inc.

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Approches géologique et géophysique intégrées pour l'amélioration de l'exploration des gisements d'ETR dans le Grenville central**

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

**Objectif**

Le projet proposé a pour objectif d'améliorer les connaissances géologiques et géophysiques des minéralisations en éléments des terres rares (ETR) associées aux complexes alcalins et aux pegmatites du Grenville central dans le but d'améliorer l'efficacité des programmes d'exploration.

Les objectifs de ce projet sont divisés en trois grands axes :

1. Comprendre les processus magmatiques et hydrothermaux responsables de l'enrichissement en ETR au sein des complexes alcalins du Grenville central;
2. Déterminer la source des ETR dans les pegmatites minéralisées;
3. Déterminer les signatures géophysiques des complexes alcalins et des pegmatites enrichis en ETR dans le but de les comparer à celles des roches environnantes et à des complexes alcalins et pegmatites non minéralisées.

**Résultats attendus**

Les résultats attendus de ce projet de recherche sont :

1. Le développement de modèles géologiques permettant une exploration efficiente des minéralisations en ETR associées aux complexes alcalins et aux pegmatites du Grenville central;
2. La définition de procédure géophysique pour une exploration efficace de ces minéralisations en utilisant des méthodes géophysiques aéroportées.

**Retombées escomptées**

Le développement de modèles géologiques et la définition de procédures géophysiques pour l'exploration des minéralisations riches en ETR associées aux complexes alcalins et aux pegmatites du Grenville central amélioreront l'efficacité des programmes d'exploration.

Ce projet valorisera le potentiel minéral peu exploité du Grenville central et générera de nouvelles cibles d'exploration pour les ETR et, à terme, aidera à la sécurisation de l'approvisionnement en ETR du Québec et du Canada. Les sources d'approvisionnement éthique et écoresponsable pour les ETR permettront au Québec de développer une économie verte et durable et de s'établir comme chef de file dans le domaine.

**Partenaires du projet**

- 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.**

**Tracage des processus géologiques contrôlant la formation des gisements de graphite de haute qualité dans la Province de Grenville du centre et de l'ouest du Québec**

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

### **Objectif**

Nous proposons d'étudier trois facteurs géologiques qui peuvent être à l'origine de la distribution spatiale des gisements de graphite de haute qualité au sein du Grenville ouest et central.

1. Source et distribution temporelle.
2. Effet du métamorphisme.
3. Influence des fluides métamorphiques.

### **Résultats attendus**

Les résultats attendus de ce projet de recherche sont :

1. La détermination de l'âge et de la source des sédiments précurseurs des gisements de graphite de haute qualité du Grenville ouest et central.
2. L'influence de la surimposition d'événements métamorphiques de haut degré.
3. La circulation des fluides (hydrothermaux ou silicatés) métamorphiques sur la qualité du graphite des gisements et des gites du Grenville ouest et central.

Les résultats obtenus de cette étude pourront facilement être étendus à l'ensemble de la province géologique de Grenville.

### **Retombées escomptées**

La détermination des facteurs géologiques influençant la formation des gisements de graphite de haute qualité permettra de reconnaître les séquences métasédimentaires les plus fertiles et servira de guide aux compagnies minières, améliorant ainsi l'efficacité de leurs programmes d'exploration.

Ce projet valorisera le potentiel minéral peu exploité du Grenville ouest et central en générant de nouvelles cibles d'exploration pour le graphite de haute qualité et, à terme, aidera à sécuriser l'approvisionnement de l'Amérique de Nord en graphite de haute qualité.

Pour le MRNF, le projet proposé permettra une meilleure compréhension de la distribution spatiale des gisements de graphite de haute pureté dans la province de Grenville située au centre et à l'ouest du Québec. Une meilleure détermination de la distribution spatiale des séquences métasédimentaires fertiles pour les gisements de graphite de haute pureté ainsi que la compréhension des processus géologiques clés pour leurs formations permettra d'évaluer efficacement le potentiel en graphite de haute pureté dans l'ensemble de la province.

### **Partenaires du projet**

- Lomiko Metals inc.
- Ministère des Ressources naturelles et des Forêts
- Nouveau Monde Graphite inc.

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Vers la production de graphite québécois de haute qualité et à faible incidence  
environnementale pour la filière des batteries Li-ion**

**Chercheur responsable :** [Lionel Roué](#), Institut national de la recherche scientifique

**Objectif**

Dans le but de produire du graphite québécois de haute qualité et à faible incidence environnementale pour la filière batterie Li-Ion, ce projet de recherche répondra aux objectifs de recherche suivants :

1. Développer un procédé de réagglomération de la fraction fine résiduelle de graphite naturel issue de la sphéronisation du graphite naturel primaire;
2. Développer un procédé d'enrobage des agglomérats utilisant des précurseurs biosourcés;
3. Caractériser et optimiser les propriétés physiques et électrochimiques des matériaux ainsi produits pour les applications de la filière batterie Li-Ion;
4. Assurer le transfert technologique au partenaire industriel et valider les performances électrochimiques du graphite de qualité batterie Li-Ion à l'échelle du prototype.

**Résultats attendus**

À l'issue de ce projet, une nouvelle technologie aura été conçue pour la valorisation des résidus graphitiques issus du procédé de sphéronisation du graphite naturel et leur transformation en matériau d'anode de haute performance et avec des répercussions environnementales réduites. Cette technologie aura été validée par des essais de mise à l'échelle tant sur le plan de la synthèse des matériaux que de leur utilisation dans les batteries Li-Ion.

Grâce à l'optimisation du procédé d'enrobage, une efficacité coulombique au 1<sup>er</sup> cycle  $\geq 90$  % est espérée.

Enfin, quant à la tenue au cyclage, nous visons une perte de capacité  $< 30$  % sur 500 cycles.

**Retombées escomptées**

Ce projet permettra de réduire considérablement l'empreinte environnementale associée à la production de graphite de qualité batterie Li-Ion. En effet, la réintégration des particules fines de graphite issues de la sphéronisation des paillettes de graphite naturel dans le circuit de production du graphite naturel de qualité batterie Li-Ion permettra de réduire notablement la production de rebuts.

Ce projet pourrait engendrer la production économiquement compétitive de matériaux d'anodes pour batterie Li-Ion plus verts et plus performants, ce qui sera favorable à l'électrification des transports.

Ce projet apportera de nouvelles connaissances et renforcera l'expertise du Québec dans le domaine de la transformation du graphite naturel issu des mines québécoises en graphite de qualité batterie Li-Ion à haute valeur ajoutée.

**Partenaires du projet**

- Nouveau Monde Graphite 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**

La présente étude sera élaborée d'abord dans le cadre de l'étude de la Mine Raglan. Mais cette étude sera effectuée pour potentiellement adapter le concept à toute l'industrie en tenant compte des spécificités de chaque exploitation (la solution sera à géométrie variable en fonction de la charge, des sources de récupération de chaleur possibles, du potentiel de production renouvelable d'un site isolé, de la connectivité à un réseau, etc.).

Objectifs :

- 1- Concevoir et implanter des solutions adaptatives à la gestion intelligente (microréseau) de l'énergie électrique;
- 2- Développer une solution de stockage d'énergie dans l'air comprimé (CAES);
- 3- Développer une solution de stockage dans un réservoir d'eau ou une station de transfert d'énergie par pompage intégré à la mine;
- 4- Développer une solution de stockage d'hydrogène;
- 5- Adapter la production annuelle de l'entreprise à la variabilité des sources d'énergie renouvelable et à la capacité de stockage implanté;
- 6- Combiner les options de production, de stockage et de consommation variables afin de maximiser la décarbonisation et réduire les coûts.

### **Résultats attendus**

À terme, nous aurons terminé le développement d'une expertise forte dans la simulation numérique des systèmes énergétiques décarbonisés hybrides et intelligents avec usage réduit de combustible fossile pour des installations de très grande taille.

Les premiers projets réalisés dans le cadre de ce programme ont permis d'établir un réseau de partenaires locaux, nationaux et internationaux, de développer une technologie de contrôle prédictif de consommation/production, une approche intégrée de la gestion énergétique dans des stations/camps/villages isolés et des trains, et ultimement, une réduction des répercussions écologiques de l'utilisation de diesel (plus de 12 millions de litres de réduction à ce jour pour les partenaires actuels).

### **Retombées escomptées**

Avec le projet proposé, MISA, Glencore (Raglan) et Hatch auront à leur disposition une expertise qu'ils pourront implanter partout au Québec. Pour le Québec en entier, ce sont des milliards de litres de diesel consommés qui sont visés par ce projet, donc au moins 80 fois plus de retombées en matière de réduction d'émissions de GES que nos projets précédents. Pour la seule mine Raglan, les retombées environnementales sont cinq fois supérieures à l'ensemble du potentiel de nos projets précédents.

### **Partenaires du projet**

- Groupe MISA
- Hatch et 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.**

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

### **Objectif**

Ce projet vise à comprendre et à utiliser les ressources locales de la région de Nemaska pour la restauration minière. Précisément, nous développerons des méthodes de production en région éloignée, avec les populations locales, de semis forestiers qui serviront à la réhabilitation de sites miniers. Les sous-objectifs sont :

- Préconditionnement de semis boréaux pour la restauration de résidus mixtes par l'utilisation de rejets miniers et de bryophytes indigènes de la région de Nemaska;
- Étude du rétablissement des cycles biogéochimiques dans les résidus fins servant de substrats en fonction des techniques de restauration et des espèces végétales utilisées;
- Diversité, fonctions et résilience post-plantation des populations microbiennes associées aux semis boréaux servant à la restauration.

### **Résultats attendus**

Nous contribuerons à l'acceptabilité sociale et à la restauration minière en valorisant le patrimoine végétal et les bryophytes régionaux. Nous discuterons avec les communautés locales pour puiser non seulement dans nos résultats de recherche antérieurs sur le site Whabouchi, mais également dans le savoir traditionnel de cette communauté accueillante. Un volet de recherche inclura l'utilisation de résidus miniers dans une matrice de bryophytes pour conditionner des semis destinés à la restauration, ouvrant la voie à l'utilisation de cet extrant minier. Les retombées seront aussi économiques, en réduisant les coûts de restauration (approvisionnement local).

### **Retombées escomptées**

Ce projet nous permettra de dresser un profil plus complet des interactions plantes-microorganismes-bryophytes dans les environnements industriels boréaux en succession primaire. Il s'agit donc d'une occasion exceptionnelle de décortiquer et de mieux comprendre les capacités étonnantes de ces organismes. À l'issue du projet de trois ans, nous comprendrons comment les bryophytes influencent le développement végétal et les populations microbiennes de la rhizosphère sur des résidus miniers à ces latitudes. Il s'agit ici de la fondation pour l'établissement d'un écosystème.

Les résultats qui en découleront seront d'une utilité pratique à court et à moyen terme pour Nemaska Lithium, mais seront potentiellement transposables à d'autres mines. Notre capacité à transposer les résultats obtenus à d'autres sites miniers proviendra, en fait, des connaissances mécanistiques plus approfondies que nous aurons générées. Nous pensons que nos résultats pourraient aussi être particulièrement utiles pour la restauration de sites abandonnés situés en région éloignée, là où les sources d'amendements organiques sont rares et que les activités de réhabilitation sont particulièrement coûteuses pour l'État.

### **Partenaires du projet**

- Nemaska Lithium inc. — Mine Wabouchi

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

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

### **Objectif**

Notre équipe connaît bien cette région, ayant travaillé sur plusieurs sites miniers près de Fermont et de Labrador City. Nous avons répertorié des endroits où se développent des plantes naturellement adaptées à l'érosion éolienne et à la sécheresse, en particulier sur le parc à résidus de la mine abandonnée au lac Jeannine. Malgré une très importante érosion éolienne sur ce site, plusieurs espèces boréales et subarctiques s'y développent très bien. Pour exploiter ces plantes exceptionnelles, nous développerons des techniques de propagation et de culture des espèces démontrant un potentiel pour la restauration minière, notamment des plantes qui s'associent avec des microorganismes fixant l'azote atmosphérique pour faciliter leur croissance dans ces substrats minéraux. Les objectifs sont :

1. Analyser le développement et les indicateurs de la végétation établie sur des parcs à résidus miniers sur la Haute-Côte-Nord pour exploiter ces espèces indigènes en restauration;
2. Déterminer la capacité de différentes espèces végétales indigènes à améliorer des indicateurs reconnus de la qualité du sol;
3. Étudier le cortège bactérien et mycorhizien facilitant la colonisation naturelle de l'aulne et de la dryade sur le parc à résidus du lac Jeannine.

### **Résultats attendus**

À la suite du projet, nous connaissons les conditions environnementales précises auxquelles sont exposées les plantes établies sur le parc à résidus au lac Jeannine. Nous connaissons leur état physiologique et le cortège microbien qui s'associe à ces plantes rustiques. Nous aurons également évalué la précision des données obtenues par télémétrie en les comparant à celles prises au sol pour la fluorescence foliaire, la productivité, le couvert végétal ainsi que la température et l'humidité.

### **Retombées escomptées**

Ces travaux fourniront à ArcelorMittal, au MRNF et aux autres parties prenantes du secteur des données concrètes sur le potentiel d'espèces indigènes méconnues pour faciliter la restauration des sites miniers et en réduire les coûts environnementaux et financiers.

Pour l'avancement des connaissances, les dryades et les autres espèces qui seront étudiées sont des plantes pionnières qui ouvrent la voie à l'établissement d'autres espèces en enrichissant les sols pauvres en nutriments. L'étude de leur tolérance à la sécheresse, à l'abrasion par l'érosion éolienne ainsi que les mécanismes leur permettant d'acquérir les nutriments essentiels n'ont pas été étudiés tel que nous le proposons ici.

### **Partenaires du projet**

- ArcelorMittal
- 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.**

**La congélation des sols basée sur les énergies renouvelables comme solution d'adaptation pour une exploitation minière durable dans le Nord sous un climat changeant**

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

**Objectif**

Généralement, deux préoccupations majeures pourraient être soulevées concernant la conception de la congélation artificielle du sol (CAS) pour maintenir le pergélisol : 1) comment maintenir une structure de pergélisol fiable et sûre en réponse au forçage du climat sans apport d'énergie d'origine humaine? et 2) comment assurer la cohérence du système CAS proposé?

L'objectif principal de ce travail est de répondre adéquatement à ces questions cruciales en abordant le processus CAS à différentes échelles et en utilisant différentes approches.

**Résultats attendus**

Le projet proposé contribuera à l'avancement des connaissances scientifiques et au développement de nouvelles technologies pour des applications industrielles. Il générera de nouvelles connaissances sur l'intégration de concepts fondamentaux en transferts de chaleur multiphasiques, en mécanique des fluides, en thermodynamique et en mécanique roche/sol du gel du sol à différentes échelles de longueur et de temps.

Le projet se concentrera également sur la démonstration d'une nouvelle technologie CAS durable à l'échelle d'une usine pilote/laboratoire, de sorte que la technologie puisse être facilement adaptée aux besoins de divers projets. L'extraction saisonnière d'énergie froide pour CAS à l'aide d'un thermosiphon est à l'étude dans plusieurs projets. Cependant, le concept de couplage avec le stockage à froid de matériaux à changement de phase (MCP) pour la congélation du sol en été et l'utilisation de la chaleur géothermique n'a pas été étudié.

À la connaissance du demandeur, l'expérimentation et la démonstration à l'échelle du laboratoire, ainsi que les « outils » mathématiques et numériques n'existent pas pour le moment et intéressent vivement les spécialistes du domaine. Les outils développés peuvent être déployés par les ingénieurs de conception et de site pour optimiser leurs conceptions et la mise en œuvre de CAS sur le terrain.

**Retombées escomptées**

Les changements climatiques devraient imposer des températures au sol supérieures à la norme actuelle. Cette condition thermique sans précédent mettra sérieusement à l'épreuve tout effort visant à geler le sol en faisant dégeler des coquilles gelées, en compromettant la stabilité du sol et en provoquant une forte infiltration d'eau souterraine dans la zone de travail et dans l'environnement immédiat.

Ce problème est encore plus grave dans le nord du Québec, ce qui pourrait avoir des conséquences catastrophiques. Par conséquent, la recherche dans ce domaine est essentielle au développement futur des ressources naturelles dans le cadre de divers projets environnementaux qui appuient à leur tour le plan à long terme du gouvernement du Québec pour l'extraction durable des minéraux et la protection de l'environnement.

**Partenaires du projet**

- ArcelorMittal Mines Canada

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Gervais Soucy](#), Université de Sherbrooke

### **Objectif**

Ce projet a pour objectif principal de développer et de mettre à l'échelle un procédé permettant l'extraction de vanadium du minerai produit à la mine du lac Doré pour une utilisation dans les batteries.

Les objectifs particuliers sont :

- 1- Caractériser le minerai et les produits obtenus après traitement pour identifier et quantifier les éléments chimiques et les phases cristallines;
- 2- Optimiser l'étape de broyage et de séparation afin d'obtenir une granulométrie de 50 µm pour la fraction contenant le vanadium;
- 3- Déterminer les conditions optimales de lixiviation en présence d'acide sulfurique afin de produire une solution de sulfate de vanadium;
- 4- Mettre à l'échelle le procédé pour des essais en usine pilote.

### **Résultats attendus**

La détection d'impuretés et la compréhension de leur effet sur la lixiviation du vanadium sous forme de sulfate sont attendues ainsi que la détection de la fraction d'intérêt. Cela permettra d'augmenter l'efficacité visée de l'extraction du vanadium à plus de 90 %.

La détermination des conditions optimales d'extraction du vanadium par procédé hydrométallurgique en continu est attendue, notamment pour la température d'exploitation, le rapport solide/liquide ainsi que la concentration en acide et le temps de résidence dans le procédé. La production de sulfate de vanadium d'une pureté de 99,8 % est également attendue pour utilisation dans la formation d'oxyde de vanadium, aussi bien à l'échelle du laboratoire que de l'usine pilote.

### **Retombées escomptées**

Sur le plan scientifique, les conséquences de la distribution des particules sur la libération et des contaminants sur le pourcentage d'extraction de vanadium sont attendues. Cela permettrait dans l'avenir d'adapter cette extraction à d'autres minerais contenant du vanadium au Québec.

L'optimisation de la séparation en amont de ces contaminants critiques permettra aussi une avancée dans le domaine en matière d'efficacité du procédé.

Toute réalisation relative à ce projet servira de base aux projets technologiques jugés essentiels par l'industrie du vanadium pour concevoir ou modifier l'usine de traitement. Par une meilleure compréhension de ces phénomènes, VanadiumCorp pourra optimiser sa conception de l'usine qui sera installée au Québec.

Les résultats permettront des économies très importantes en raison d'une forte augmentation de la productivité du procédé et de son efficacité en continu, tout en permettant de stabiliser la production et de répondre à la demande.

### **Partenaires du projet**

- Vanadium Corp

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Gervais Soucy](#), Université de Sherbrooke

### **Objectif**

Ce projet a pour objectif principal de développer un procédé permettant la purification à plus de 99,95 % du graphite pour une utilisation dans les batteries tout en utilisant des GES, réduisant ainsi l'empreinte carbone.

Les objectifs particuliers sont :

- 1- Caractériser le minerai et les produits obtenus après traitement pour identifier et quantifier les éléments chimiques et les phases cristallines;
- 2- Modéliser et concevoir le réacteur de traitement au plasma;
- 3- Optimiser les paramètres de purification par plasma utilisant des GES;
- 4- Concevoir à l'échelle le procédé, passage au stade de l'usine pilote.

### **Résultats attendus**

La purification du graphite par traitement au plasma utilisant des GES est attendue. Une purification supérieure à 99,95 % pour tout le concentré ainsi qu'un temps de traitement inférieur à celui de la méthode traditionnelle sont attendus. La détermination des conditions de traitement optimal du plasma consommant des GES est attendue. Une purification sans utilisation de chlore est également attendue. Une réduction marquée du temps de purification et donc une augmentation de la productivité est attendue comparativement au traitement classique.

### **Retombées escomptées**

Ce projet servira de base pour former le personnel hautement qualifié (PHQ) essentiel pour soutenir l'industrie minière au Québec.

Le développement et l'optimisation du procédé permettront également une diminution de l'utilisation de chlore et d'acide, en purifiant thermiquement à l'aide de GES le graphite, réduisant ainsi les conséquences environnementales. Le développement du procédé métallurgique en continu permettra également de réduire l'empreinte carbone du procédé.

Enfin, le produit final permettra de développer la filière batterie et voiture électrique au Québec en favorisant un produit québécois plus écoresponsable.

Les résultats permettront des économies très importantes en raison d'une forte augmentation de la productivité du procédé par la réduction du temps de traitement, tout en permettant de répondre à la demande. En effet, la Banque Mondiale prévoit une évolution de la demande de 494 % de 2018 à 2050 pour le graphite, élément nécessaire à la transition énergétique.

### **Partenaires du projet**

- Nouveau Monde Graphite inc.

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Ross Stevenson](#), Université du Québec à Montréal

### **Objectif**

L'objectif principal de cette étude est de construire de meilleurs modèles d'exploration pour mieux comprendre l'origine de l'or dans les gisements d'or orogénique et l'évolution des fluides hydrothermaux qui ont formé les veines à quartz-carbonates-or.

Cet objectif principal sera atteint en répondant aux trois sous-objectifs suivants :

- 1- Déterminer le degré de fractionnement stable des isotopes de strontium (Sr) dans les carbonates (calcite) contenus dans les veines, puis déterminer si le fractionnement varie avec la contribution des fluides métamorphiques dans les veines. Les réactions métamorphiques de décarbonatation devraient produire une signature isotopique distincte;
- 2- Déterminer si le rapport 87/86 Sr varie selon d'autres indices de composition hydrothermale des fluides (oxygène, carbone, Sr radiogénique) à cause d'un processus de fractionnement similaire ou à cause d'un mélange des fluides;
- 3- Utiliser les données obtenues à partir des objectifs précédents pour construire un modèle de circulation hydrothermal pour le champ filonien aurifère de Val-d'Or. Appliquer le nouveau modèle hydrothermal à d'autres régions de l'Abitibi et du Québec.

### **Résultats attendus**

Nous allons produire des données isotopiques stables de Sr, puis des isotopes de C et d'O sur des échantillons de calcite caractéristiques des filons aurifères. Nous allons utiliser la variation dans les isotopes stables de Sr pour reconstruire le taux de précipitation de calcite dans les filons et établir le taux de contribution des fluides métamorphique ou crustaux.

Les isotopes stables de Sr permettront de mieux distinguer entre les fluides métamorphiques parce que ces fluides sont les produits des réactions de déshydratation et de décarbonations de la croûte archéenne. Ce projet fournira de nouveaux précieux indicateurs sur la composition et l'origine des fluides hydrothermaux et sur l'origine des gites d'or orogénique, en vue d'établir des modèles d'exploration plus holistiques.

### **Retombées escomptées**

Ces modèles holistiques de circulation des fluides hydrothermaux aideront les compagnies d'exploration dans la région de Val-d'Or et ailleurs au Québec.

Une fois le modèle de circulation hydrothermal affiné, il sera appliqué à d'autres régions du Québec où il y a des systèmes hydrothermaux carbonatés-or (p. ex., baie James). Ce sera la première base de données au monde sur les isotopes stables de Sr pour des systèmes hydrothermaux.

### **Partenaire du projet**

- Ministère des Ressources naturelles et des Forêts

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 207 010 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Valorisation d'un broyat noir (black mass) pour en extraire les métaux de valeur (Li, Ni, Co, Mn, Al) et fabriquer de nouveaux matériaux de cathode**

**Chercheur responsable :** [Jocelyn Veilleux](#), Université de Sherbrooke

### **Objectif**

L'objectif général du projet vise à récupérer, à séparer et à purifier le lithium, le nickel, le manganèse et le cobalt (Li, Ni, Mn, Co) des cathodes en fin de vie, avec une haute pureté. Contrainte importante, ces tâches doivent être accomplies à l'aide d'un procédé hydrométallurgique et électrochimique; il permet de régénérer les sous-produits de sels alcalins en base et en acide et de les réutiliser dans le procédé de transformation du concentré de spodumène en hydroxyde de lithium de haute pureté, activité principale de Nemaska Lithium inc. Ainsi, le Li sera lixivié sous forme de sulfate pour être réintroduit dans le procédé électrochimique de transformation en hydroxyde, ou encore pour être précipité en carbonate. Quant à la récupération du Ni, du Mn et du Co, trois voies seront explorées : la cristallisation des « sulfates », la précipitation des « hydroxydes » et l'extraction au solvant.

Les objectifs particuliers du projet sont les suivants :

1. Caractériser la *black mass* afin d'identifier les principales impuretés qu'elle contient;
2. Récupérer, séparer et purifier le Ni, le Mn et le Co par cristallisation des sulfates;
3. Récupérer, séparer et purifier le Ni, le Mn et le Co par précipitation des hydroxydes ou des oxydes;
4. Séparer et purifier le Ni, le Mn et le Co par extraction au solvant ou échange ionique;
5. Convertir à l'échelle de projet pilote le procédé optimal de récupération, de séparation et de purification développé.

### **Résultats attendus et retombées escomptées**

Les avancées qui résulteront du projet seront bénéfiques pour Nemaska Lithium inc. et le Québec :

1. Nemaska Lithium inc. diversifiera son approvisionnement en lithium (spodumène et batteries au lithium à recycler) et ses sources de revenus (vente du Ni, du Co et du Mn récupérés);
2. Nemaska Lithium inc., l'U. de S., le CIMMS et le Québec formeront du PHQ (3 étudiants diplômés à l'U. de S.) ayant une expertise unique dans le recyclage des cathodes et de l'hydrométallurgie;
3. Le Québec continuera à dominer l'échiquier international dans le domaine du lithium, en fermant la boucle du cycle de vie des batteries au lithium avec la valorisation locale des matériaux stratégiques de la *black mass*, plutôt que de les envoyer à l'étranger;
4. Le Québec comptera sur des installations de recyclage des batteries au lithium à même les unités de transformation du spodumène, réduisant les risques liés à la construction d'usines nouvelles.

### **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.**

**Chercheur responsable :** [Anthony Eric Williams-Jones](#), Université McGill

### **Objectif**

L'objectif primordial de notre proposition de recherche est de développer un modèle qui explique la genèse de la minéralisation en éléments de terres rares (ETR) à Kwyjibo en répondant aux questions soulevées ci-dessous, et de développer des outils qui permettront une exploration efficace du corridor minéralisé.

Les objectifs connexes sont :

1. Déterminer la distribution de l'uranium et du thorium (U et Th) dans le minerai et dans les minéraux de gangue pour guider le traitement du minerai et des déchets miniers d'une manière qui minimise leurs conséquences sur l'environnement;
2. Étudier la complexation des réactifs anioniques organiques avec les ETR à la surface de la britholite et de l'allanite, pour cibler les collecteurs potentiels pour le procédé de flottation.

### **Résultats attendus**

La base de données développée par le projet permettra :

1. L'évaluation des processus responsables de la formation de la minéralisation en magnétite-apatite et de la concentration initiale en ETR;
2. L'évaluation du rôle des fluides hydrothermaux dans la redistribution des ETR et l'introduction potentielle d'ETR provenant de sources externes;
3. La détermination de la raison pour laquelle, contrairement à d'autres gisements de magnétite-apatite, Kwyjibo est si enrichi en ETR, particulièrement concernant les ETR légers.

### **Retombées escomptées**

Cette base de données, à son tour, permettra le développement d'un modèle complet pour la formation de gisements de magnétite-apatite enrichie en ETR, et établira des lignes directrices et développera des outils pour leur exploration ultérieure. En outre, elle aidera à guider le traitement des minerais afin de minimiser les conséquences environnementales potentiellement néfastes de l'U et du Th et de trouver d'éventuels collecteurs de flottation qui pourraient améliorer l'efficacité de l'enrichissement des terres rares.

### **Partenaires du projet**

- SOQUEM inc.

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 381 000 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**

**Chercheur responsable :** [Samuel Yniesta](#), Polytechnique Montréal

### **Objectif**

Le but principal de ce projet est de rendre la conception et l'exploitation des parcs à résidus plus sécuritaires. Afin de mener à bien ce projet, trois objectifs particuliers sont définis :

1. Caractérisation des propriétés géotechniques des résidus, en particulier quant à la liquéfaction statique, par des tests en laboratoire et des mesures *in situ*, et modélisation constitutive des résidus miniers;
2. Amélioration de la compréhension des mécanismes de rupture grâce à des simulations numériques, et développement de critères de conception;
3. Développement d'un modèle probabiliste de risque de rupture d'un parc à résidus. Dans un premier temps, le risque de rupture d'un seul scénario sera étudié, l'objectif étant d'obtenir un modèle de risque pouvant être utilisé et qui puisse servir de cadre conceptuel à l'élaboration de futurs modèles.

### **Résultats attendus**

Les résultats de ce projet de recherche permettront de mieux comprendre les mécanismes de rupture et d'appréhender les risques encourus par les ouvrages de rétention de résidus et d'énoncer des critères de conception permettant de mieux analyser et construire ces ouvrages. Les ingénieurs pourront utiliser le modèle de comportement qui sera créé dans le projet et qui sera introduit dans le logiciel FLAC, ainsi que le modèle probabiliste de rupture postsismique afin de concevoir les parcs à résidus. Des équations empiriques résultant des simulations numériques seront définies afin d'évaluer la susceptibilité d'un parc aux différents modes de rupture.

### **Retombées escomptées**

Globalement, cette étude sera une première étape vers une meilleure compréhension de la liquéfaction statique et vers une meilleure définition des risques dans l'industrie minière.

Ce projet fournira à l'industrie minière des outils de conception simples, efficaces et conçus pour la pratique. Ainsi, les équations empiriques permettront d'évaluer la susceptibilité d'un ouvrage de rétention à un mode de rupture donnée, y compris la liquéfaction statique. Quant aux lois de comportement qui seront créées, elles permettront de réaliser des simulations non linéaires complexes, pour la conception de parcs à résidus afin d'en déterminer la stabilité à court et à long terme. Ces lois de comportement seront introduites dans le logiciel FLAC afin de permettre à un grand nombre d'ingénieurs de les utiliser.

Globalement, le projet permettra une pratique plus sûre et plus consciente des risques ainsi que de leurs conséquences, ce qui permettra non seulement de limiter les catastrophes potentielles, mais également de participer au changement de perception du public à l'égard de l'industrie minière.

### **Partenaires du projet**

- Mine Canadian Malartic
- Mines Agnico Eagle Itée

**Durée du projet :** 3 ans

**Subvention accordée pour ce projet :** 313 690 \$

**Pour plus d'information, contactez le chercheur responsable.**