



## Programme de recherche en partenariat sur le développement durable du secteur minier

### Résumé des projets financés

- 1<sup>er</sup> concours 2013-2014
- 2<sup>e</sup> concours 2014-2015
- Volet Perception sociale de l'industrie minière et acceptabilité sociale des projets miniers 2015-2016
- 3<sup>e</sup> concours 2016-2017
- Volet Valorisation des résidus miniers 2016-2017

*Septembre 2016*

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1.</b>	<b>Présentation du Programme de recherche .....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Fonctionnement du programme .....</b>	<b>6</b>
2.1	<i>Évaluation de la pertinence des projets .....</i>	6
2.2	<i>Évaluation scientifique des projets .....</i>	7
2.3	<i>Classification finale.....</i>	7
2.4	<i>Recommandations .....</i>	7
<b>3.</b>	<b>Résumés des projets financés lors du 1<sup>er</sup> concours .....</b>	<b>9</b>
3.1	<i>Disposition des roches stériles pour minimiser leur impact environnemental: Conception optimale des haldes et utilisation novatrice des stériles sur les sites miniers.....</i>	10
3.2	<i>Optimisation économique des opérations d'extraction et de séparation des éléments de terres rares .....</i>	11
3.3	<i>Nouvelles méthodologies utilisant les minéraux indicateurs en exploration .....</i>	12
3.4	<i>Séquestration du carbone couplée à la récupération de l'énergie géothermique.....</i>	13
3.5	<i>Développement des outils d'interprétation pour deux nouveaux systèmes géophysiques dédiés à la détection d'amas minéralisés enfouis profondément.....</i>	14
3.6	<i>Développement d'une stratégie globale d'optimisation de sites miniers avec incertitude: Amélioration de la viabilité économique et de la gestion environnementale des résidus miniers d'une mine de fer dans le nord.....</i>	15
3.7	<i>De l'échelle du mésocosme à celle du Nunavik : Développement d'un bioindicateur pour le suivi de la contamination métallique en région minière .....</i>	16
3.8	<i>Assimilation stochastique de données géophysiques pour la modélisation géologique et de teneur en trois dimensions .....</i>	17
3.9	<i>Caractérisation et conception géomécaniques intégrées pour l'exploitation minière en profondeur ou sous hautes contraintes et en milieu nordique .....</i>	18
3.10	<i>Géochronologie des corridors magmatiques hydrothermaux fini-Archéens du Québec.....</i>	19
3.11	<i>Développement d'un analyseur portable pour l'or.....</i>	20
3.12	<i>Mines profondes : défis d'exploitation et impacts sur la récupération minéralurgique.....</i>	21
3.13	<i>Remblai minier en pâte cimenté dans le pergélisol : étude du transport et des conditions thermiques de cure .....</i>	22
3.14	<i>Séquestration du CO<sub>2</sub> à la cheminée dans l'industrie du fer par carbonatation minérale de résidus miniers : valorisation de deux déchets .....</i>	23
3.15	<i>Des mines et des communautés : mieux comprendre les impacts du développement minier sur les communautés autochtones et non-autochtones du Nord.....</i>	24
3.16	<i>Valorisation des carottes de forage d'exploration minière grâce au perfectionnement du Laboratoire mobile de caractérisation physique, minéralogique et chimique des roches (LAMROC).....</i>	25
3.17	<i>Potentiel des systèmes énergétiques hybrides éolien-diesel-air comprimé pour les sites miniers .....</i>	26
3.18	<i>La revégétalisation comme outil d'intervention et de rétablissement des services écosystémiques sur les sites miniers non-acidogènes.....</i>	27
3.19	<i>Prédictions critiques en revégétalisation de résidus acidogènes: effet des symbioses plantes-microorganismes sur la translocation des métaux et mécanismes assurant le maintien de l'homéostasie chez l'aulne dans ces environnements .....</i>	28

<b>4.</b>	<b>Résumés des projets financés lors du 2<sup>e</sup> concours .....</b>	<b>29</b>
4.1	<i>Simulation des circuits de concentration gravimétrique pour les minerais de fer du nord québécois.....</i>	30
4.2	<i>Métallogénie et contexte géodynamique du contact La Grande-Opinaca, Baie-James (Québec) .....</i>	31
4.3	<i>Développement d'une méthodologie de reconnaissance automatisée des grains d'or et de silicates dans les concentrés de minéraux lourds.....</i>	32
4.4	<i>Influence de la végétation sur la performance de barrières à l'oxygène pour contrôler le drainage minier acide .....</i>	33
4.5	<i>Qualité de l'air dans les mines ultraprofondes: contrôle des émanations de moteur diesel.....</i>	34
4.6	<i>Nouveaux développements en suivi par écoute microsismique .....</i>	35
4.7	<i>Cartographie minéralogique par télédétection pour l'aide à l'optimisation de la gestion des roches stériles.....</i>	36
4.8	<i>Développement d'une veste de refroidissement individuelle adaptée au travail en mines profondes.....</i>	37
4.9	<i>Définir, développer, déployer, tester et valider des technologies et procédés avancée de surveillance, de contrôle et d'automatisation afin de permettre l'opération à distance de foreuses rotatives .....</i>	38
4.10	<i>Augmentation de l'efficacité énergétique des locomotives en optimisant la charge thermique et pneumatique .....</i>	39
4.11	<i>Revégétalisation de sites miniers à l'aide d'un nouveau concept agroforestier d'hydroensemencement herbacé et de plantation de ligneux biofortifiés avec des microsymbiotes racinaires.....</i>	40
4.12	<i>Étude du comportement et de la biodisponibilité de l'uranium, du thorium et de leurs produits de filiation dans des résidus miniers pour des fins de valorisation .....</i>	41
4.13	<i>Remblayage des chantiers et disposition des rejets solides pour un développement minier sécuritaire et durable: Études de l'interaction entre les remblais et les structures encaissantes dans des mines profondes .....</i>	42
4.14	<i>Prédiction et traitement passif du drainage minier en climat nordique .....</i>	43
4.15	<i>Études électromagnétique et géoélectrique de hautes puissances appliquées à la prospection de gîtes de sulfures massifs profonds et à la discrimination spectrale de différents types d'anomalies de chargeabilité électrique au Québec.....</i>	44
4.16	<i>Extraction et enrichissement de terres rares contenues dans les résidus miniers par liquides ioniques fonctionnalisés.....</i>	45
4.17	<i>Développement de techniques de réhabilitation écologique prédictives: étude de la sélection naturelle d'arbres et herbacées (sur 50 ans) sur un dépôt de résidus acidogènes.....</i>	46
4.18	<i>Application du réacteur plasma à lit fluidisé pour le traitement de la pegmatite riche en lithium .....</i>	47
4.19	<i>Valorisation dans les bétons de la silice amorphe issue de l'extraction du magnésium métallique contenu dans la serpentine.....</i>	48
<b>5.</b>	<b>Résumés des projets financés lors du concours pour le volet Perception sociale de l'industrie minière et acceptabilité sociale des projets miniers .....</b>	<b>49</b>
5.1	<i>Perception sociale de l'industrie minière et acceptabilité sociale des projets miniers.....</i>	50
5.2	<i>Partager les informations avec les communautés par l'indice du risque social.....</i>	51
5.3	<i>Analyse de la perception des québécois sur le développement des ressources minérales et comparaison de l'acceptabilité sociale avec le développement d'autres ressources naturelles .....</i>	52

<b>6.</b>	<b>Résumés des projets financés lors du 3<sup>e</sup> concours .....</b>	<b>53</b>
6.1	<i>Émissions de poussières de résidus miniers - études de l'effet des méthodes et niveaux d'assèchement sur leurs propriétés physico-chimiques et impacts sur l'albédo du couvert nival.....</i>	54
6.2	<i>Épaississement des pulpes de résidus miniers destinés à la déposition en surface ou à la fabrication des remblais en pâte cimentés à l'aide des polymères super-absorbants (PSA).....</i>	55
6.3	<i>Développement de procédés de gestion/valorisation des rejets miniers et de résidus de procédés issus de l'extraction et de la concentration des terres rares à partir de roches de type carbonatites.....</i>	56
6.4	<i>Développement d'une approche méthodologique visant à intégrer les changements climatiques à la conception des ouvrages de rétention des résidus miniers et de restauration .....</i>	57
6.5	<i>Nouvelle stratégie de mesures géophysiques en souterrain dédiée au développement des mines profondes.....</i>	58
6.6	<i>Caractérisation des gîtes de terres rares d'intrusions alcalines : géologie, métallogénie et géométallurgie du complexe syénitique de Kipawa .....</i>	59
6.7	<i>Développement de réacteur électromembranaire pour la production d'hydroxyde de lithium.....</i>	60
6.8	<i>Contribution à la conception des galeries minières dans le contexte des mines profondes, sous hautes contraintes et soumises à la sismicité.....</i>	61
6.9	<i>Isolement, identification et sélection des symbiotes végétaux racinaires en vue d'améliorer la réhabilitation des habitats de la toundra arctique et alpine du Québec affectés par l'exploitation minière.....</i>	62
6.10	<i>Gestion intégrée des rejets miniers pour les mines à ciel ouvert : Évaluation d'une approche de disposition des résidus et stériles réactifs dans les fosses.....</i>	63
6.11	<i>Étude du potentiel de séquestration du CO<sub>2</sub> industriel par les résidus de flottation de mine Arnaud.....</i>	64
6.12	<i>Développement et optimisation de la technologie LiDAR mobile pour la modélisation 3D précise et la surveillance de la convergence des tunnels miniers .....</i>	65
6.13	<i>Potentiel des ressources et technologies géothermiques pour l'approvisionnement énergétique des mines du nord.....</i>	66
6.14	<i>Communauté minière nordique net-zéro.....</i>	67
6.15	<i>Développement d'une approche durable de restauration progressive d'extrants miniers mixtes (stériles et résidus) des nouvelles mines du Nord Québécois; les espèces végétales indigènes à la rencontre des besoins des communautés crie. ....</i>	68
6.16	<i>Développement d'outils d'évaluation et d'atténuation des impacts potentiels de la récolte de tourbe sur la qualité de l'eau des cours d'eau récepteurs .....</i>	69
<b>7.</b>	<b>Résumés des projets financés lors du concours pour le volet Valorisation des résidus miniers.....</b>	<b>71</b>
7.1	<i>Valorisation du résidu minier UGSO en une nouvelle famille de catalyseurs.....</i>	72
7.2	<i>Production de concentrés de phosphates et de magnétite à partir des résidus miniers du concentrateur de la mine Niobec.....</i>	73
7.3	<i>Optimisation de la production de rejets désulfurés en vue de leur valorisation dans la restauration de sites miniers .....</i>	74
7.4	<i>Valorisation des roches stériles sur les sites miniers : Élaboration de critères hydro-géotechniques et opérationnels pour maximiser l'utilisation des stériles dans les couvertures, les inclusions et les structures de routes .....</i>	75
7.5	<i>Valorisation des boues pour le contrôle de la dispersion de poussières par l'érosion éolienne et la restauration des sites miniers.....</i>	76
7.6	<i>Valorisation des résidus de Bauxite pour l'épuration des gaz d'une aluminerie (CO<sub>2</sub> et SO<sub>2</sub>).....</i>	77
	<b>ANNEXE.....</b>	<b>79</b>



## 1. Présentation du Programme de recherche

Lancé en juin 2013, le Programme de recherche en partenariat sur le développement durable du secteur minier est offert conjointement par le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) et le Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies (FRQNT).

Ce Programme de recherche en partenariat vise à inciter les chercheurs québécois œuvrant dans des champs disciplinaires variés à répondre aux besoins du partenaire et à proposer des recherches innovatrices, offrant des avenues intéressantes en matière de recherche sur le développement durable du secteur minier. Il s'agit d'un programme qui encourage la collaboration scientifique entre les chercheurs universitaires, de collège et les entreprises minières.

Les objectifs spécifiques rattachés à ce programme sont de :

- favoriser l'acquisition de nouvelles connaissances, le développement de nouvelles technologies et stimuler l'innovation dans tous les processus du développement minier : l'exploration minière, l'exploitation minière, le traitement de minerais et la restauration des sites miniers;
- favoriser une approche globale et intégrée de la recherche entre tous les processus de développement minier soit entre l'exploration minière, l'exploitation minière, le traitement de minerais et la restauration des sites miniers;
- encourager le développement d'équipes multidisciplinaires de chercheurs et la consolidation d'équipes existantes pour aborder des problématiques de recherche complexes concernant l'industrie minière;
- augmenter le potentiel de recherche dans le domaine minier en assurant la relève scientifique et la formation de spécialistes et d'experts dont le Québec a besoin;
- appuyer les liens de coopération aux niveaux national et international avec des partenaires dont l'expertise est reconnue;
- favoriser le renforcement d'une industrie axée sur le savoir, l'innovation et les nouvelles technologies;
- stimuler la diffusion et le transfert des connaissances auprès des utilisateurs potentiels des résultats de la recherche;
- réduire l'impact écologique des activités minières sur le territoire québécois afin d'en améliorer l'acceptabilité sociale dans les communautés;
- générer, grâce à un effet de levier, une augmentation des investissements en innovation de l'industrie minière.

Initialement, le Programme de recherche en partenariat sur le développement durable du secteur minier était doté d'une enveloppe budgétaire globale de 16 000 000 \$ et faisait l'objet de quatre concours, entre les années financières 2013-2014 et 2016-2017. En décembre 2015, un avenant à l'entente est venu ajouter une enveloppe de 1 575 000 \$ au programme afin de promouvoir un concours supplémentaire en 2016-2017 portant sur la valorisation des résidus miniers. À cette enveloppe globale de 17 575 000 \$ s'ajoute une contribution obligatoire d'entreprises minières participant aux projets d'un montant équivalent à au moins 10 % du budget total de chacun des projets. Les partenaires se sont engagés à partager les coûts de la façon suivante :

<b>Partenaires</b>	<b>Total</b>
MERN	16 500 000 \$
FRQNT	1 075 000 \$
Total	17 575 000 \$
Frais de gestion	825 000 \$
Sommes disponibles pour les projets	16 750 000 \$
Contributions des entreprises	Minimum 10 %

## 2. Fonctionnement du programme

### 2.1 Évaluation de la pertinence des projets

Pour obtenir du financement de ce programme, les chercheurs doivent d'abord présenter une lettre d'intention répondant aux conditions d'admissibilité définies pour le programme dans le Guide d'appel de propositions.

Ces lettres d'intentions sont évaluées par un comité de pertinence formé par des représentants du MERN, en fonction de la pondération et des critères décrits ci-après :

- Adéquation, portée et caractère novateur (45 points) *(40 points pour le volet Perception sociale de l'industrie minière et acceptabilité sociale des projets miniers)*
- Nature et importance des retombées pour l'industrie minière et le MERN (30 points)
- Écoconditionnalité et intégration des principes de développement durable (10 points) *(15 points pour le volet Perception sociale de l'industrie minière et acceptabilité sociale des projets miniers)*
- Importance du partenariat établi pour la réalisation du projet (15 points)

Cette évaluation, assortie d'un seuil de passage, constitue une étape éliminatoire. Au terme de cette étape, les responsables des lettres d'intention retenues ont été invités à présenter une description détaillée de leurs propositions dans une demande d'aide financière.

## **2.2 Évaluation scientifique des projets**

Les demandes d'aide financière sont analysées par un comité scientifique composé par des pairs des chercheurs et qui n'ont pas de liens directs avec eux.

Les membres du comité scientifique procèdent à l'évaluation des demandes en fonction de la pondération et des critères décrits ci-après :

- Qualité scientifique du projet (40 points)
- Qualité scientifique de l'équipe (20 points)
- Formation d'étudiants et d'experts dans le domaine (20 points)
- Qualité du plan de diffusion scientifique et de transfert des résultats (15 points)
- Réalisme de l'échéancier de réalisation et bien-fondé du budget demandé (5 points)

Cette évaluation, assortie d'un seuil de passage, constitue une étape éliminatoire.

## **2.3 Classification finale**

La classification finale s'effectue en additionnant les résultats de l'évaluation de la pertinence à ceux de l'évaluation scientifique pour un total de 200 points.

## **2.4 Recommandations**

Le premier concours a été lancé en juin 2013 et 42 lettres d'intention admissibles ont été reçues. Au terme du processus d'évaluation et en tenant compte de l'enveloppe budgétaire disponible, 19 projets ont reçu une subvention.

Le deuxième concours a été lancé en juillet 2014 et 43 lettres d'intention admissibles ont été reçues. Au terme du processus d'évaluation et en tenant compte de l'enveloppe budgétaire disponible, 19 projets ont reçu une subvention.

Le concours pour le volet Perception sociale de l'industrie minière et acceptabilité sociale des projets miniers a été lancé en juin 2015 et 10 lettres d'intention admissibles ont été reçues. Au terme du processus d'évaluation et en tenant compte de l'enveloppe budgétaire disponible, 3 projets ont reçu une subvention.

Le troisième concours a été lancé en août 2015 et 42 lettres d'intention admissibles ont été reçues. Au terme du processus d'évaluation et en tenant compte de l'enveloppe budgétaire disponible, 16 projets ont reçu une subvention.

Le concours pour le volet Valorisation des résidus miniers a été lancé en décembre 2015 et 19 lettres d'intention admissibles ont été reçues. Au terme du processus d'évaluation et en tenant compte de l'enveloppe budgétaire disponible, 6 projets ont reçu une subvention.



### **3. Résumés des projets financés lors du 1<sup>er</sup> concours**

### **3.1 Disposition des roches stériles pour minimiser leur impact environnemental: Conception optimale des haldes et utilisation novatrice des stériles sur les sites miniers**

**Chercheur responsable :** Michel Aubertin, École Polytechnique de Montréal

#### **Résumé**

L'excavation de la roche non minéralisée pour accéder au minerai extrait de la mine peut produire de grandes quantités de roches stériles. Ces rejets miniers contiennent souvent des minéraux réactifs qui peuvent produire un drainage minier acide (DMA) ou un drainage neutre contaminé (DNC). Une telle contamination des eaux peut avoir des effets néfastes sur l'environnement à proximité des sites miniers. Les roches stériles sont usuellement entreposées sur le site minier sous forme de haldes. L'analyse du comportement géotechnique hydrogéologique et géochimique des haldes à stériles est complexe et produit souvent des résultats incertains. Les travaux qui seront menés par l'équipe du demandeur visent à élaborer de nouvelles approches pour mieux concevoir et construire ces haldes, afin de prévenir les problèmes de stabilité hydrogéotechnique et géochimique.

Le projet comporte aussi des volets touchant la réutilisation des roches stériles sur les sites miniers pour le remblayage des chantiers souterrains, pour une conception améliorée des parcs à résidus miniers, et pour le contrôle de la production de DMA à l'aide de couvertures placées sur des résidus miniers réactifs.

#### **Partenaires du projet**

- Rio Tinto Fer et Titane
- Corporation Minière Osisko
- Mines Agnico Eagle Itée

**Résultats :** Rapport final prévu en août 2017

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

### **3.2 Optimisation économique des opérations d'extraction et de séparation des éléments de terres rares**

**Chercheur responsable** : Claude Bazin, Université Laval

#### **Résumé**

Les objectifs du projet sont:

- De développer un simulateur pour un circuit de séparation des éléments de terres rares (Lanthane à Lutécium, incluant Yttrium et Scandium);
- D'utiliser le simulateur pour étudier les aspects économiques de différentes stratégies de séparation de ces éléments;
- De développer des procédures expérimentales pour calibrer le simulateur.

La principale retombée du projet est l'acquisition d'une expertise universitaire dans le domaine de la séparation des terres rares. Cette expertise pourra être transférée aux étudiants de tous les cycles (baccalauréat, maîtrise et doctorat) ainsi qu'aux firmes de génie conseil qui aident à la conception et à l'opération des usines. Le simulateur devrait pouvoir être utilisé par les compagnies pour les aider à évaluer les coûts associés à différentes options de traitement de gisements potentiels de terres rares.

#### **Partenaires du projet**

- Soutex
- Corem
- Roche
- SGS

**Résultats** : Rapport final prévu en juillet 2017

**Durée du projet** : 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet** : 129 950 \$

### **3.3 Nouvelles méthodologies utilisant les minéraux indicateurs en exploration**

**Chercheur responsable :** Georges Beaudoin, Université Laval

#### **Résumé**

L'objectif du projet de recherche est de développer de nouvelles méthodologies pour identifier et quantifier la composition minérale d'un échantillon de grains extraits d'un sédiment non-consolidé. En particulier, nous allons développer l'application aux concentrés de minéraux lourds extraits de sédiments glaciaires, mais les méthodologies pourront être appliquées à d'autres environnements (fluvial, côtier, éolien). Le projet va utiliser des caméras hyperspectrales dans les longueurs du visible long (0,4 µm) aux longueurs d'onde de l'infrarouge thermique (11,8 µm). Les caméras hyperspectrales permettent de mesurer le spectre d'absorption d'un grain et de déterminer sa composition minéralogique par l'identification de caractéristiques spectrales propres à différents minéraux. Notre projet fait appel à une large bande de longueurs d'ondes pour identifier une plus grande proportion de minéraux que ce qui est couramment effectué dans l'industrie. Les nouvelles méthodologies développées dans le cadre du projet auront des applications tant au niveau des fabricants d'instruments, dont les caméras hyperspectrales, qu'au niveau des entreprises qui fournissent des services à l'industrie minière. Ces sociétés pourront offrir de nouveaux services plus efficaces et moins coûteux à l'industrie minière. Les nouvelles méthodes vont aussi permettre de valider les résultats par des programmes d'assurance qualité/contrôle qualité, ce qui n'est pas possible avec les méthodes utilisées en ce moment.

#### **Partenaires du projet**

- Photonic Knowledge
- Telops inc.

**Résultats :** Rapport final prévu en août 2017

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

### **3.4 Séquestration du carbone couplée à la récupération de l'énergie géothermique**

**Chercheur responsable :** Georges Beaudoin, Université Laval

#### **Résumé**

Le premier objectif du projet de recherche est de mieux comprendre les processus de carbonatation minérale qui se produisent à l'intérieur d'un parc à résidus miniers riche en magnésium. Le second objectif est d'évaluer le potentiel géothermique, engendré par réactions exothermiques de carbonatation minérale, des parcs à résidus.

L'étude du couplage entre la capture du CO<sub>2</sub> atmosphérique dans les résidus miniers et la génération d'énergie géothermique par les réactions chimiques exothermiques de carbonatation minérale est centrale à ce projet. La caractérisation des processus en trois dimensions sera effectuée grâce à la réalisation d'un forage dans le parc à résidus miniers de la mine Black Lake à Thetford Mines. Nous allons localiser le puits sur une zone propice, identifiées par des levés de thermographie infrarouge et de géophysique, et l'instrumenter pour en faire le suivi sur 3 ans.

Nous proposons d'effectuer des levés thermographiques et géophysiques périodiques pour caractériser temporellement et spatialement l'évolution du processus de carbonatation minérale du parc à résidus. Ces levés nous permettront de proposer un modèle conceptuel qui décrit les processus de carbonatation minérale et la production de chaleur. Nous allons utiliser des modèles mathématiques prédictifs pour évaluer le potentiel de capture et de stockage du CO<sub>2</sub> couplé à la récupération de l'énergie géothermique dans les résidus miniers et pour en valider le caractère prévisionnel sur des parcs à résidus existants.

Ce concept novateur pourrait contribuer à réduire l'empreinte environnementale des exploitations minières en compensant de manière significative les émissions de gaz à effet de serre d'une exploitation minière par la capture du carbone et la réduction de la consommation d'énergie par l'utilisation de sources alternatives de chaleur géothermique.

#### **Partenaire du projet**

- Telops inc.

**Résultats :** Rapport final prévu en août 2017

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 298 500 \$

### **3.5 Développement des outils d'interprétation pour deux nouveaux systèmes géophysiques dédiés à la détection d'amas minéralisés enfouis profondément**

**Chercheur responsable :** Li Zhen Cheng, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

#### **Résumé**

Le projet vise à innover au niveau des outils de traitement et d'interprétation de deux nouveaux systèmes d'investigation à grande profondeur (GRAVILOG et ARMIT).

Considérant la longueur des forages d'aujourd'hui, la profondeur de forage peut ainsi atteindre plus de 3000 m. Nos développements se feront selon 3 axes de recherche, tout en permettant la formation de PHQ :

- 1) Analyse de la sensibilité des deux systèmes lithologiques et structurales ainsi que l'augmentation de la distance de détection;
- 2) Développement de nouvelles méthodes de traitement des données d'ARMIT, dont l'amélioration du rapport signal sur bruit;
- 3) Développement des outils d'interprétation pour les données de GRAVILOG et espace tridimensionnel.

Ces développements permettront d'augmenter la capacité de la géophysique d'exploration minière à détecter ou à reconnaître des structures géologiques ou des gisements profonds. Les nouveaux outils de traitement et d'interprétation de deux systèmes géophysiques développés dans le cadre de ce projet contribueront à augmenter le taux de réussite de l'exploration en profondeur.

#### **Partenaire du projet**

- Abitibi Géophysique

**Résultats :** Rapport final prévu en octobre 2017

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

### **3.6 Développement d'une stratégie globale d'optimisation de sites miniers avec incertitude: Amélioration de la viabilité économique et de la gestion environnementale des résidus miniers d'une mine de fer dans le nord**

**Chercheur responsable :** Roussos Dimitrakopoulos, Université McGill

#### **Résumé**

Objectifs du projet :

- (1) Concevoir et développer des modèles de programmation stochastique pour le secteur minier et la planification de la production;
- (2) Améliorer l'analyse mathématique et statistique en adaptant les modèles afin d'intégrer des sources multiples d'approvisionnement (des mines, des fosses);
- (3) Élaborer des stratégies de résolution basée sur des métaheuristiques y compris des hybrides;
- (4) Développer des formulations de programmation stochastique basées sur les données futures simulées qui peuvent synchroniser de façon optimale les plans de production à court et à long terme;
- (5) Évaluer la performance du modèle développé et l'ajuster aux sites miniers.

Résultats attendus :

- (1) Optimisation globale des complexes miniers, adaptée plus particulièrement aux gisements de fer tels que ceux retrouvés au Québec;
- (2) Développement d'un modèle global qui tiendra compte des particularités propres au gisement de New Millennium Iron Corp., dont entre autres les contraintes de mélange propres à chaque produit, divers scénarios pour le transport du minerai à l'intérieur du site minier, gestions des stériles et intégration de la réhabilitation des sites dans le processus de planification.

Retombées escomptées :

- (1) maximisation de la valeur présente nette, la gestion du risque et la rentabilité pour des gisements de fer;
- (2) augmentation des performances économiques, du développement durable et responsable des ressources minières dans le nord;
- (3) amélioration de la production, de la qualité des produits et de l'offre;
- (4) gestion efficace des roches stériles et des résidus miniers dans un environnement fragile;
- (5) prise de décisions objectives et techniquement défendables; et finalement
- (6) formation de chercheurs.

#### **Partenaire du projet**

- New Millenium Iron Corp.

**Résultats :** Rapport final prévu en janvier 2018

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

### **3.7 De l'échelle du mésocosme à celle du Nunavik : Développement d'un bioindicateur pour le suivi de la contamination métallique en région minière**

**Chercheur responsable** : Claude Fortin, Institut National de la Recherche Scientifique

#### **Résumé**

Le nord du Québec sera sujet à des pressions anthropiques importantes avec le développement de son potentiel minier. Une bonne compréhension du fonctionnement des écosystèmes est nécessaire afin d'être en mesure de quantifier le stress causé par les activités minières et d'évaluer le succès des programmes de réhabilitation. Les analyses physico-chimiques généralement effectuées lors des suivis de la qualité de l'eau ne renseignent toutefois pas sur les effets d'une contamination sur les communautés biologiques, ne représentent qu'un instantané de la situation au moment où les prélèvements sont effectués, et ne reflètent pas nécessairement la biodisponibilité des contaminants. Le périphyton (biofilm se développant à la surface de substrats dans les plans d'eau), et les diatomées (algues microscopiques) qui en sont les constituantes majeures, ont un excellent potentiel comme bioindicateur pour évaluer le degré de contamination dans les écosystèmes aquatiques à proximité d'activités minières.

Pour ce projet de recherche, nous proposons d'examiner les liens entre la biodisponibilité des contaminants et les réponses du périphyton afin d'établir les bases d'un nouvel outil écotoxicologique d'évaluation du risque écologique que posent les métaux. Ce projet sera réalisé à la fois en conditions naturelles et contrôlées (mésocosmes) et permettra : 1) de construire un modèle prédictif de la contamination métallique du périphyton en fonction des variables physico-chimiques (pH, dureté, spéciation chimique etc.), (2) d'intégrer les données obtenues dans le Nord au modèle prédictif ; 3) d'explorer les liens entre la contamination métallique et les déformations observées dans les frustules de diatomées ; et 4) de quantifier les impacts de variables propres aux sites nordiques (température faible; heures d'ensoleillement) sur l'accumulation et les effets des métaux sur le périphyton.

#### **Partenaire du projet**

- Canadian Royalties inc.

**Résultats** : Rapport final prévu en juillet 2017

**Durée du projet** : 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet** : 259 900 \$

### **3.8 Assimilation stochastique de données géophysiques pour la modélisation géologique et de teneur en trois dimensions**

**Chercheur responsable :** Erwan Gloegan, Institut National de la Recherche Scientifique

#### **Résumé**

L'objectif général du projet vise à développer de nouveaux outils de modélisation géologique et de teneur basés sur l'intégration des expertises géologiques, géophysiques afin d'assimiler des données de sources multiples afin d'améliorer la justesse des modèles géologiques et de teneur et d'en évaluer l'incertitude.

Les résultats attendus sont de deux natures. Premièrement, le Québec possède peu d'expertise locale sur l'assimilation de données multi-source pour des fins de modélisation géologique 3D, que ce soit dans le domaine minier ou pétrolier. Il est primordial de former le personnel hautement qualifié qui pourra maximiser les ressources québécoises pour les Québécois. Deuxièmement, l'impact de la recherche aura des effets majeurs sur l'approche de modélisation géologique et de teneur en permettant d'établir une plateforme commune pour tous les géoscientifiques impliqués dans la modélisation géologique 3D. Le résultat final de cette recherche consistera en un logiciel intégré de modélisation géologique 3D pouvant être interfacé avec la plateforme gocad. Il bénéficiera ainsi des excellentes capacités de visualisation et d'affichage du logiciel commercial ainsi que d'une possibilité de diffusion auprès de ses utilisateurs.

À terme, la méthodologie pourra potentiellement permettre l'exploitation de gisements jugés non rentables a priori, et de prolonger l'activité économique liée à ce secteur d'importance capitale pour les régions minières. Les développements théoriques, mais aussi, les outils géomatiques 3D pourront être utilisés dans d'autres domaines, que ce soit en environnement ou en modélisation de réservoirs pétroliers. Ils permettront ainsi aux compagnies québécoises de percer le marché très compétitif de la modélisation géologique 3D.

#### **Partenaire du projet**

- Mira Geoscience Ltd

**Résultats :** Rapport final prévu en juillet 2017

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 291 000 \$

### **3.9 Caractérisation et conception géomécaniques intégrées pour l'exploitation minière en profondeur ou sous hautes contraintes et en milieu nordique**

**Chercheur responsable :** Martin Grenon, Université Laval

#### **Résumé**

Le premier objectif de ce projet de recherche est de développer un modèle géotechnique pour le projet minier Éléonore. Le modèle géotechnique sera constitué de quatre sous-modèles : géologique, structural, du massif rocheux et hydrogéologique. Ils seront intégrés à un logiciel de planification minière utilisé dans l'industrie. Le deuxième objectif est de réaliser des analyses géomécaniques de la stabilité des ouvrages miniers qui maximisent l'utilisation du modèle géotechnique. Dans le cadre de ce projet, l'analyse de la stabilité sera réalisée à deux échelles : celle de la galerie et celle du pilier de surface.

Le premier résultat attendu de ce projet de recherche est la création d'un modèle géotechnique global pour un projet minier en milieu nordique qui sera notamment exploité sous hautes contraintes. Ce type de modèle sera unique dans le contexte québécois et permettra d'établir un étalon pour les autres opérations minières. Le second résultat sera l'analyse de la stabilité des ouvrages sur la base d'une caractérisation géomécanique globale. Dans un premier temps, l'évaluation de la capacité des outils actuels à intégrer les propriétés géotechniques lors des analyses géomécaniques de la stabilité sera réalisée. Dans un second temps, de nouveaux outils de conception seront développés. Cinq PHQ dont l'industrie a besoin seront formés au cours de ce projet.

#### **Partenaire du projet**

- Goldcorp – Projet Éléonore

**Résultats :** Rapport final prévu en novembre 2017

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

### 3.10 Géochronologie des corridors magmatiques hydrothermaux fini-Archéens du Québec

**Chercheur responsable :** Michel Jébrak, Université du Québec à Montréal

#### **Résumé**

Les minéralisations en or du Craton du Lac Supérieur au Québec sont associées à de grands corridors de failles, telle la faille Cadillac, qui ont fait la fortune minière de la Province. Alors que l'on pensait jusqu'ici que ces minéralisations se mettaient en place en une seule phase à la fin de l'Archéen, il apparaît maintenant que ces gîtes présentent probablement de larges variations d'âge et d'environnement.

L'objectif du projet est de dater la mise en place de l'or en datant directement, pour la première fois, les minéraux sulfurés (pyrite, arsénopyrite, molybdénite) directement porteurs de l'or.

Nous développerons au Québec une nouvelle méthode basée sur la géochimie isotopique Rhénium Osmium en se servant des installations de pointe installées récemment au Geotop. Cette technique permet non seulement de dater les minéralisations, mais aussi de connaître leur source, crustale ou mantellique. Elle permettra ainsi de beaucoup mieux contraindre le processus de genèse des minéralisations en or, et de cartographier distinctement chacun des événements hydrothermaux. Cette approche sera appliquée sur quatre corridors porteurs de minéralisations : les failles Cadillac (E-W) et Lamarck (NE-SW) en Abitibi, le corridor de Belleterre et le corridor Rex en Ungava. Le projet permettra d'analyser chacun de ces corridors, de les comparer entre eux, et d'en comparer le fonctionnement avec des failles plus récentes. Il définira des secteurs favorables pour les minéralisations en or.

#### **Partenaires du projet**

- Ressources Métanor inc.
- Mines Richmond
- Alexandria
- Hecla Québec
- Exploration Azimut inc.
- Ressources Yorbeau inc.
- Les Mines J.A.G. Ltée

**Résultats :** Rapport final prévu en octobre 2017

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

### 3.11 Développement d'un analyseur portatif pour l'or

**Chercheur responsable :** Marcel Laflamme, Université Laval

#### **Résumé**

Objectifs : L'industrie minière québécoise est confrontée à des défis importants qui menacent sa compétitivité et son développement durable : baisse des teneurs à la fois des gisements exploités et de ceux nouvellement découverts, minéralisations de plus en plus complexes avec des niveaux plus élevés d'impuretés, en plus des pressions justifiées pour continuer d'améliorer ses performances environnementales. Présentement, les analyses des échantillons de minerais d'or demandent au mieux de 1 à 2 jours. Or, de nombreuses décisions opérationnelles, comme par exemple la sélection de la profondeur des horizons cibles minéralisés dans les sondages, doivent être prises par les ingénieurs et les géologues avant même d'obtenir les résultats des analyses de laboratoire. Considérant ces prémisses, le grand objectif de ce projet est d'établir les bases pour le développement d'un dispositif portatif et compact basé sur la technologie de spectroscopie laser plasma (SLP) qui permettra l'analyse quantitative, en temps réel, des minerais d'or du Québec et de leurs différentes matrices.

Résultats attendus : À la fin du projet, toutes les connaissances requises pour l'intégration en un système SLP portatif analyseur d'or seront rendues disponibles à l'industrie minière. De plus, une licence sera octroyée à un manufacturier pour commercialisation de la technologie SLP pour l'analyse en continu des teneurs en or dans les mines.

Retombées escomptées : La recherche permettra de définir de nouveaux standards pour le suivi de la minéralisation dans les mines d'or et ce, dans tous les processus d'exploration et d'exploitation. Elle contribuera également à la formation de personnel hautement qualifié, à savoir un étudiant au post doctorat et deux étudiants à la maîtrise pour la résolution de problématiques concrètes et complexes.

#### **Partenaires du projet**

- Agnico Eagle
- Hecla Québec
- Iamgold
- Osisko

**Résultats :** Rapport final prévu en janvier 2018

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

### 3.12 Mines profondes : défis d'exploitation et impacts sur la récupération minéralurgique

**Chercheur responsable :** Marcel Laflamme, Université Laval

#### **Résumé**

Objectifs : De nombreux défis attendent les ingénieurs qui doivent assurer la sécurité et la rentabilité économique des mines profondes (>2000 mètres). La plupart des mines profondes utilise une méthode de minage par « chambres vides et longs trous », caractérisée par de grandes ouvertures et, de ce fait, par une dilution opérationnelle importante. Or, les connaissances géologiques, d'ingénierie et économiques adéquates permettent d'établir le tonnage et la teneur moyenne des réserves minérales. Ces informations permettent ensuite d'estimer les investissements requis, les coûts de production et les revenus escomptés, définissant ainsi la rentabilité économique d'un projet minier. Paradoxalement, il existe très peu d'informations dans la littérature permettant de quantifier l'ampleur de la dilution et des pertes opérationnelles dans les mines profondes. Le défi s'étend également à l'étape de traitement des minerais en surface. L'effet sur la réponse métallurgique de la variation de la teneur d'alimentation est considéré dans les études de faisabilité. L'analyse se limite cependant aux fluctuations planifiées et exemptes de remblai. La question de l'impact de la dilution supplémentaire et non planifiée demeure donc essentiellement ouverte. Le futur de notre industrie minière étant axée sur le savoir et l'innovation, ce projet a pour objectif d'élaborer une base de connaissances en génie pour les mines profondes et ce, tant au niveau de l'exploitation minière que de la récupération minéralurgique ultérieure.

Résultats attendus : Développement d'une banque d'informations sur les méthodes et séquences de développement et minage dans les mines profondes. Élaboration d'un guide pratique en conception et ingénierie minière pour les mines profondes. Développement d'un protocole d'essais et de simulation.

Retombées escomptées : Développement de nouveaux standards pour l'ingénierie et l'exploitation des mines profondes.

#### **Partenaires du projet**

- Agnico Eagle
- Goldcorp – Éléonore
- Iamgold

**Résultats :** Rapport final prévu en septembre 2017

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

### **3.13 Remblai minier en pâte cimenté dans le pergélisol : étude du transport et des conditions thermiques de cure**

**Chercheur responsable :** Mamert Mbonimpa, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

#### **Résumé**

Le remblai minier en pâte cimenté (RMPC) peut contribuer à réduire l'empreinte écologique des activités minières. En effet, le RMPC est un mélange fait de rejets du concentrateur (ou résidus miniers) filtrés, d'eau et d'un agent liant, destiné à remplir les vides créés dans la mine pendant l'extraction du minerai. De ce fait, le RMPC sert de support secondaire de terrain, contribuant ainsi à la sécurité des travailleurs et à une extraction complète du minerai. Par la même occasion, cette technologie permet aussi de stocker sous terre jusqu'à 50 % des résidus générés qui, autrement, auraient dû être stockés en surface. La réduction des volumes de résidus en surface contribue à réduire le potentiel de contamination de l'environnement, particulièrement lorsque ces résidus sont générateurs de drainage minier acide ou neutre contaminé.

L'utilisation du RMPC dans le pergélisol en milieu nordique reste néanmoins peu documentée et n'a pas encore fait l'objet d'assez de recherche malgré le potentiel de son application dans ce contexte. Un des plus grands défis est de connaître la résistance mécanique du RMPC mise en place entre les parois gelées du pergélisol. La formulation au laboratoire de la recette optimale passe par la connaissance et la prise en compte de la température de cure in situ du RMPC, puisqu'elle contrôle l'hydratation du liant.

Ce projet de recherche vise à développer de nouveaux outils d'aide à la conception du RMPC en conditions nordiques. Un premier volet étudie l'effet de la température ambiante sur les propriétés rhéologiques et thermiques du RMPC frais et détermine les pertes de charges et la distribution de la température lors de tests d'écoulement en boucle à l'échelle du laboratoire. Les données obtenues seront alors utilisées pour simuler numériquement le transport du RMPC afin d'optimiser le design du système de distribution et de déterminer la température de mise en place du remblai. Un deuxième volet vise à prédire les échanges thermiques entre le RMPC et les parois gelées du pergélisol. Des données d'essais de laboratoire seront utilisées pour calibrer un modèle numérique qui, au final, permettra de simuler numériquement le comportement thermo-hydro-mécanique et chimique du RMPC in situ.

#### **Partenaire du projet**

- Mines Agnico Eagle Ltée

**Résultats :** Rapport final prévu en septembre 2016

**Durée du projet :** 2 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 110 400 \$

### **3.14 Séquestration du CO<sub>2</sub> à la cheminée dans l'industrie du fer par carbonatation minérale de résidus miniers : valorisation de deux déchets**

**Chercheur responsable** : Guy Mercier, Institut National de la Recherche Scientifique

#### **Résumé**

L'une des voies les plus prometteuses dans la lutte au rejet de gaz à effet de serre (GES) industriels est le captage direct du CO<sub>2</sub> provenant des émissions gazeuses des usines. Le but visé est de développer un procédé de séquestration du CO<sub>2</sub>, peu coûteux et efficace, pouvant s'adapter à plusieurs industries émettrices, dont les producteurs de minerais de fer, sans ralentir leurs activités économiques. La commercialisation des produits obtenus (carbonates, concentrés métalliques, etc.) permettrait de réduire le coût du procédé, tout en limitant la quantité de résidus devant être disposés par enfouissement.

Les buts principaux du projet sont de diminuer les impacts écologiques des activités minières, mieux gérer les résidus, développer de nouvelles technologies environnementales et former de nouveaux spécialistes et experts. Dans ce cadre, les objectifs de ce projet sont : a) effectuer la séquestration du CO<sub>2</sub> des gaz des usines de CNR, à l'aide des résidus miniers disponibles; b) vendre les sous-produits obtenus; c) adapter le procédé de carbonatation mis au point jusqu'à présent aux conditions de gaz et de fonctionnement des usines de CNR; d) obtenir des résultats applicables à une industrie émettrice; e) utiliser le carbonate comme matériel alternatif dans certains procédés, comme par exemple, pour le bouletage en aciérie.

Les résultats attendus sont tout d'abord la démonstration à l'échelle du laboratoire d'une diminution de 90% du CO<sub>2</sub> du gaz généré par l'industrie et l'optimisation des facteurs technico-économiques importants de la réaction. Cette recherche permettra également d'établir la performance des résidus miniers comme matériel de carbonatation et d'obtenir des sous-produits à valeur ajoutée, tels qu'un concentré magnétique de Fe, Ni, Co, Cr, divers carbonates, dont le MgCO<sub>3</sub>, et de la silice. Les critères de design pour le dimensionnement à l'échelle industrielle du procédé de carbonatation seront établis. Enfin, le coût de séquestration du CO<sub>2</sub> sera calculé selon deux modes, soit avec et sans vente de sous-produits.

#### **Partenaire du projet**

- Cliffs Québec Mine de fer Limitée

**Résultats** : Rapport final prévu en août 2016

**Durée du projet** : 2 ans

**Budget total accordé pour ce projet** : 200 000 \$

### **3.15 Des mines et des communautés : mieux comprendre les impacts du développement minier sur les communautés autochtones et non-autochtones du Nord**

**Chercheur responsable** : Thierry Rodon, Université Laval

#### **Résumé**

L'objectif général de ce projet est de combler certaines des lacunes concernant les impacts du développement minier en répondant aux trois objectifs suivants: (1) Comprendre comment le développement minier peut affecter la cohésion sociale des communautés minières autochtones et non-autochtones du Nord québécois; (2) Analyser l'évolution de l'emploi local dans les mines du Nord québécois; (3) Comprendre les impacts du développement minier sur l'écologie du caribou migrateur et celle des petits fruits et sur l'économie de subsistance de communautés autochtones québécoises.

Les résultats attendus prendront la forme de revues de littérature, de collections et d'analyse de données statistiques et d'analyses de données qualitatives. Les résultats obtenus permettront aux partenaires d'adapter leurs pratiques pour mitiger les impacts sociaux et écologiques du développement minier et s'assurer que celui-ci ait des retombées économiques et sociales positives pour les communautés du Nord. Les communautés partenaires du projet auront en main les données pour mettre en oeuvre des mesures pour mitiger les impacts du développement minier sur la cohésion sociale de leurs communautés, pour favoriser l'emploi local dans les mines et pour adapter les horaires de travail pour favoriser le maintien des activités de subsistance. Il en va de même avec notre partenaire industriel (ArcelorMittal), qui aura les données pour mettre en place des mesures pour favoriser la cohésion sociale des communautés nordiques, l'emploi local de même que la pratique des activités d'économie de subsistance, et ce, autant à Fermont que dans ses autres sites miniers nordiques (ex. Mary River sur l'île de Baffin). En ce sens, ce projet a une portée très pratique et aura aussi des retombées scientifiques dans la mesure où il mènera à la publication de cinq articles qui paraîtront dans des revues à comité de lecture.

#### **Partenaire du projet**

- ArcelorMittal Mines

**Résultats** : Rapport final prévu en septembre 2017

**Durée du projet** : 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet** : 300 000 \$

### **3.16 Valorisation des carottes de forage d'exploration minière grâce au perfectionnement du Laboratoire mobile de caractérisation physique, minéralogique et chimique des roches (LAMROC)**

**Chercheur responsable :** Pierre-Simon Ross, Institut National de la Recherche Scientifique

#### **Résumé**

L'objectif général de la présente demande est la valorisation des carottes de forage d'exploration minière grâce au perfectionnement du Laboratoire mobile de caractérisation physique, minéralogique et chimique des roches (LAMROC). Le projet vise à développer de façon globale le laboratoire et l'interprétation des données, afin de faire du Québec un leader international dans le domaine. Les objectifs spécifiques à court terme sont de (1) développer des vecteurs géochimiques et minéralogiques vers la minéralisation; (2) améliorer l'interprétation minéralogique des données de spectrométrie infrarouge pour la Sous-province de l'Abitibi; (3) faire de la R&D en géochimie; et (4) perfectionner les outils d'analyse statistique multivariée applicables à l'exploration minière.

Il est important pour l'industrie minière de développer des cibles d'exploration en profondeur. Les données acquises par le LAMROC peuvent aider à augmenter les chances de succès en connaissant mieux la géologie des secteurs forés et en développant des vecteurs d'exploration, surtout si on optimise l'interprétation des données. Ces outils d'interprétation, comme une librairie spectrale personnalisée et des algorithmes d'analyse statistique, seront applicables également à des données d'autres sources. Les logiciels développés au cours du présent projet seront diffusés gratuitement et seront faciles d'utilisation.

Retombées escomptées : Ce projet permettra de perfectionner le LAMROC, le seul laboratoire du genre dans le monde, faisant du Québec un leader international des mesures multiparamétriques sur les carottes de forage d'exploration minière, et de l'interprétation de ces mesures.

#### **Partenaire du projet**

- Glencore/Xstrata

**Résultats :** Rapport final prévu en septembre 2016

**Durée du projet :** 2 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 200 000 \$

### **3.17 Potentiel des systèmes énergétiques hybrides éolien-diesel-air comprimé pour les sites miniers**

**Chercheur responsable :** Daniel Rousse, École de Technologie Supérieure

#### **Résumé**

Le présent projet vise à valider l'implantation d'une centrale de production énergétique hybride éolien-diesel-air comprimé (SHEDAC ou WDCAS, en anglais) afin d'augmenter de 50% la capacité de production électrique du camp Esker de l'entreprise Transport Ferroviaire Tshuetin Inc. sans impact environnemental. Ce projet vient appuyer l'utilisation d'une source d'énergie alternative et verte avec un principe innovateur : en période de surproduction éolienne, l'utiliser pour stocker de l'air comprimé et en période de pointe, faire fonctionner conjointement l'éolienne et le groupe diesel avec ce dernier en mode suralimenté pour augmenter sa capacité. Le projet vise spécifiquement à : (1) assurer la disponibilité de l'électricité en tout temps, (2) utiliser de manière prioritaire l'énergie renouvelable, (3) assurer une haute pénétration de la source d'énergie renouvelable sans compromettre l'efficacité du groupe électrogène diesel, (4) assurer un coût de revient du kWh minimal, (5) assurer un produit robuste demandant un minimum d'entretien, (6) proposer un système pouvant fonctionner en milieu nordique, (7) faciliter l'installation du système et rationaliser au maximum les charges d'énergie.

Les résultats attendus sont : (1) le développement d'une expertise forte dans l'ingénierie des systèmes énergétiques hybrides en milieu nordique, (2) une connaissance nouvelle des applications SHEDAC, (3) le développement d'une technologie de contrôle prédictif de consommation/production, (4) une collaboration nationale et internationale nouvelle entre équipes complémentaires, (5) une approche intégrée de la gestion énergétique dans des stations/camps/villages isolés.

Les retombées escomptées sont : (1) une réduction de l'impact écologique par un facteur de presque 2 de l'emploi de diesel pour l'alimentation électrique du camp Esker, (2) la formation de personnel hautement qualifié, (3) du contenu pour la création de formations spécifiques sur les sujets relatifs au projet, (4) des devis techniques pour implanter les applications SHEDAC, (5) une entreprise qui aura à sa disposition une technologie qu'elle pourra implanter ailleurs en sites isolés.

#### **Partenaire du projet**

- Tshuetin

**Résultats :** Rapport final prévu en octobre 2016

**Durée du projet :** 2 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 200 000 \$

### **3.18 La revégétalisation comme outil d'intervention et de rétablissement des services écosystémiques sur les sites miniers non-acidogènes**

**Chercheur responsable :** Sébastien Roy, Université de Sherbrooke

#### **Résumé**

Le projet soumis a pour but de bâtir sur le succès d'un projet précédent et achever le développement de pochettes de plantation biodégradables employées pour revégétaliser la halde de résidus stériles sans avoir à préparer (amender) le terrain. Nous étudierons également des microorganismes isolés précédemment, lesquels colonisent l'intérieur des racines des arbustes pionniers (aulne crispé, aulne rugueux) et les conifères (pin gris, épinette blanche). Les effets synergiques de ces bactéries (*Frankia* sp et d'autres genres), ainsi que des mycètes endo et ectomycorhiziens sur la croissance des végétaux en résidus miniers seront étroitement étudiés, puis exploités. L'approche de revégétalisation que nous préconisons se base sur l'initiation de la succession végétale, une approche peu coûteuse et durable. Celle-ci repose sur un assemblage primaire de microorganismes et plantes pionnières (entre autres) pour initier le développement de ces écosystèmes perturbés. Le retour graduel et autonome de ces écosystèmes doit être évalué et caractérisé sur la base du développement de la microflore de la rhizosphère des plantes introduites. Nous effectuerons donc une étude métagénomique et métatranscriptomique globale pour décrire les fonctions microbiennes contribuant au conditionnement des résidus miniers.

Nos activités incluront des essais de croissance de végétaux en conditions contrôlées, ainsi que des essais sur le site minier Sigma. Ces essais terrains nous permettront d'expandre notre savoir-faire. Les plantations mixtes, l'atténuation du stress des végétaux par le contrôle de l'érosion éolienne seront, entre autres, testées. Le projet a été conçu de manière à répondre à une question pratique pressante pour notre partenaire industriel, tout en cherchant des explications qui nous permettront d'améliorer, de manière raisonnée, les phytotechnologies basées sur ces plantes pionnières et leurs microsymbiontes.

#### **Partenaires du projet**

- Conseil national de recherches Canada
- ArborInnov Inc.
- CTRI
- Roche
- AEF Global Inc.
- Centre jardin Lac Pelletier
- Century Mining Corp.

**Résultats :** Rapport final prévu en décembre 2017

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 299 749 \$

### **3.19 Prédiction critiques en revégétalisation de résidus acidogènes: effet des symbioses plantes-microorganismes sur la translocation des métaux et mécanismes assurant le maintien de l'homéostasie chez l'aulne dans ces environnements**

**Chercheur responsable :** Sébastien Roy, Université de Sherbrooke

#### **Résumé**

Parallèlement aux mines en opération, nous devons, collectivement, gérer les sites miniers orphelins. Dans tous les cas, les coûts associés à la gestion de l'impact environnemental sont difficiles à assumer compte tenu de l'échelle des perturbations dont il est question. Un problème particulier auquel nous nous intéressons est celui des résidus miniers acidogènes (résidus fins). Dans le cadre d'un projet de recherche avec lamgold Corp. visant la revégétalisation de résidus miniers acidogènes, nous avons constaté une mortalité anormale des plantes introduites sur le bassin de résidus.

Le projet soumis aura pour but d'accomplir ce qui n'est pas possible dans le projet précédant soit : 1-d'identifier précisément la cause de la mortalité des aulnes introduites; 2-d'évaluer quelles symbioses aulne-microorganisme pourraient améliorer la survie des plantes sur le site; 3-comprendre l'acquisition des micro-éléments par les aulnes dans un tel environnement.

L'approche de revégétalisation préconisée est basée sur l'initiation de la succession végétale par l'implantation d'aulnes indigènes qui tirent leur azote de leur symbiose avec une bactérie fixatrice d'azote. Les résultats de cette recherche permettront de décrire des mécanismes essentiels à la tolérance de ces organismes aux contaminants, tout en améliorant notre compréhension de la nutrition chez l'aulne. Enfin, cette recherche permettra aussi de mieux définir le potentiel de l'aulne en hypersymbiose pour la réhabilitation des innombrables sites contaminés par l'activité industrielle.

#### **Partenaires du projet**

- ArborInnov Inc.
- CTRI
- Roche
- AEF Global Inc.
- lamgold

**Résultats** Rapport final prévu en décembre 2017

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 297 049 \$

#### **4. Résumés des projets financés lors du 2<sup>e</sup> concours**

#### **4.1 Simulation des circuits de concentration gravimétrique pour les minerais de fer du nord québécois**

**Chercheur responsable :** Claude Bazin, Université Laval

##### **Résumé**

Il y a présentement trois mines qui extraient le minerai de fer en opération dans le nord du Québec. Plusieurs gisements prometteurs sont aussi à l'étude. Le traitement des minerais de fer de la région de Fermont fait appel à des opérations de séparations gravimétrique et/ou magnétique pour concentrer les minéraux de fer. Ce projet porte sur les usines utilisant des circuits de concentration gravimétrique. Les usines en opération au Québec produisent des concentrés titrant entre 65 et 67% Fe avec des rendements fer entre 75 et 90%. Toutefois, le marché du fer évolue, et de plus en plus d'acheteurs demandent des concentrés titrant plus de 68% Fe. Pour arriver à cet objectif, en maintenant des rendements acceptables, les schémas habituels de traitement du minerai de fer doivent être revus. Ces révisions débutent souvent par des pilotages coûteux et/ou des essais à l'échelle industrielle, aussi coûteux que les essais pilotes, effectués en isolant une partie du circuit d'une usine. L'objectif du projet est de développer un outil de simulation permettant d'étudier rapidement différentes configurations de circuits de concentration gravimétrique pour les minerais de fer. L'outil devrait permettre de combiner des hydrocyclones, des classificateurs hydrauliques et des spirales dans des schémas réalistes permettant d'anticiper les performances et/ou les risques associés à une configuration particulière d'équipements de concentration des minéraux de fer. L'outil développé dans le cadre de ce projet va permettre d'orienter les travaux de pilotage et les essais industriels conduisant ainsi à une réduction des investissements et de la durée des essais pour évaluer de nouveaux rhéogrammes de procédé.

##### **Partenaires du projet**

- ArcelorMittal Exploitation minière Canada s.e.n.c.
- COREM

**Résultats :** Rapport final prévu en septembre 2018

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 120 000 \$

## **4.2 Métallogénie et contexte géodynamique du contact La Grande-Opinaca, Baie-James (Québec)**

**Chercheur responsable :** Georges Beaudoin, Université Laval

### **Résumé**

Le contact entre les sous-provinces archéennes de La Grande et d'Opinaca, à la Baie-James, a fait l'objet de nombreuses campagnes d'exploration minérale dans la dernière décennie, surtout suite à la découverte du gisement Éléonore. Bien qu'encore mal défini, ce linéament est souvent comparé à la faille Larder Lake-Cadillac, en Abitibi, le long de laquelle on y exploite de l'or depuis plus de 80 ans. Notre projet vise à comprendre l'évolution tectono-métamorphique du contact entre les sous-provinces archéennes de La Grande et d'Opinaca, afin d'évaluer son rôle dans la mise en place de minéralisations aurifères à l'échelle régionale. Il se réalisera par l'étude a) de gîtes aurifères ayant des minéralisations de typologie variée le long du contact et b) de l'évolution tectonométamorphique des deux sous-provinces. Le secteur ciblé pour l'étude longe la limite entre les deux sous-provinces depuis la portion ouest du réservoir La Grande 3 jusqu'aux environs du gisement Éléonore. Nos objectifs incluent la caractérisation détaillée de gîtes aurifères représentatifs situés à proximité du contact en documentant leur signature métallique, leur minéralogie, la lithogéochimie des roches encaissantes et de la minéralisation, les isotopes stables et radiogéniques, et la géochronologie pour ainsi être en mesure de comparer leurs caractéristiques avec celles de différents types de gîtes d'or à l'échelle mondiale. Nous pourrions ainsi déterminer des métalotectes qui vont donner de nouveaux outils pour l'exploration minérale. Nous allons améliorer les connaissances sur l'évolution tectono-métamorphique complexe du contact afin de connaître son rôle dans la mise en place de différents types de gîtes d'or le long du contact. Enfin, nous allons identifier des minéraux indicateurs dans les gîtes aurifères et les roches de haut grade métamorphique de l'Opinaca qui pourront servir à l'exploration minérale.

Les résultats attendus comprennent une compilation géologique du contact La Grande - Opinaca, l'identification de métalotectes pour la minéralisation aurifère, incluant les minéraux indicateurs des gîtes aurifères, dont ceux trouvés en terrains de haut grade métamorphique. Nous allons aussi élaborer de nouveaux modèles métallogéniques et tectono-métamorphiques des roches le long du contact et pour les minéralisations aurifères associées. Les retombées escomptées directes de ce programme de recherche permettront d'accroître l'efficacité de l'exploration minérale par l'amélioration des connaissances sur les gîtes aurifères et par l'application de nouveaux modèles géologiques visant à mieux comprendre la juxtaposition tectonique de terranes à fort contraste métamorphique à l'intérieur de la Province du Supérieur. En plus, les nouveaux modèles géologiques vont donner des outils plus précis aux agences gouvernementales pour faire l'évaluation du potentiel minéral de cette région.

### **Partenaire du projet**

- Mines Virginia inc.

**Résultats :** Rapport final prévu en juillet 2018

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 299 250 \$

### **4.3 Développement d'une méthodologie de reconnaissance automatisée des grains d'or et de silicates dans les concentrés de minéraux lourds**

**Chercheur responsable :** Paul Bédard, Université du Québec à Chicoutimi

#### **Résumé**

L'exploration minérale fait face à des coûts croissants et à des contextes de gisements plus difficiles à trouver. La problématique s'avère plus importante dans les régions nordiques à cause des coûts de transport élevés, une courte durée de la période sans neige, de l'immensité du territoire à explorer et l'importante couverture de dépôts glaciaires limitant les zones affleurantes. Dans un tel contexte, la détection de minéraux indicateurs dans les sédiments glaciaires s'avère être une voie de recherche importante. La détection des grains d'or, en particulier, est exigeante en main-d'oeuvre spécialisée et un facteur limitatif. Il est proposé de développer une méthode automatisée et efficace d'identification des minéraux en grains. Cette méthodologie se doit d'être peu coûteuse en plus d'avoir un taux de récupération constant. Pour l'or, plusieurs étapes seront nécessaires pour atteindre une résolution optimale, traiter un grand d'informations numériques et procéder à l'étalonnage de l'imagerie.

Le projet se divise en quatre volets : 1- construire un étalon de mesure contenant des grains d'or; 2- acquérir et caractériser des spectres de l'or et suturer les champs de vue; 3- automatiser la discrimination des grains d'or et 4- étendre la méthode pour discriminer les grains des différentes espèces de minerais ou de silicates translucides.

Le résultat attendu du premier volet du projet de recherche est la fabrication d'un étalon. Le second volet prévoit le développement d'un banc d'essai en microscopie optique, un algorithme de traitement des spectres et l'obtention d'une base de données spectrales pour l'or. Le résultat attendu du troisième volet de recherche est l'automatisation du second volet. Le résultat attendu pour le quatrième volet est l'adaptation de la méthode pour les minéraux sulfurés ou silicatés. Le projet réunira une équipe multidisciplinaire (physicien, minéralogistes, géochimistes, spécialiste des matériaux de référence) qui contribuera à la formation de personnel hautement qualifié. Le projet contribuera à accélérer les nombreuses études sur les minéraux lourds en offrant un outil automatisé de triage des minéraux indicateurs (or, grenats, etc.). Le projet est novateur par son approche peu coûteuse et facilement déployable grâce aux développements technologiques récents en imagerie numérique. Il permettra de bonifier des techniques d'exploration actuellement en essor et pourra potentiellement avoir des applications dans les usines de traitement de minerai.

#### **Partenaire du projet**

- IOS Services Géoscientifiques Inc.

**Résultats :** Rapport final prévu en août 2018

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

#### **4.4 Influence de la végétation sur la performance de barrières à l'oxygène pour contrôler le drainage minier acide**

**Chercheur responsable :** Bruno Bussière, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

##### **Résumé**

La restauration des parcs à résidus générateurs de drainage minier acide (DMA) constitue un défi environnemental important pour l'industrie minière. Ainsi, en climat humide, les barrières à l'oxygène telles les couvertures avec effets de barrière capillaire (CEBC) et les recouvrements monocouches avec nappe phréatique surélevée (NPS) sont de plus en plus utilisées pour contrôler la production du DMA. Même si ces deux approches de restauration sont relativement récentes, leurs mécanismes de fonctionnement sont relativement bien connus et documentés. La performance à court et moyen termes de ces deux types de recouvrement a été démontrée à l'échelle du laboratoire et du terrain. Il apparaît maintenant essentiel de passer à une 2e phase de validation de leur fonctionnement à long terme, en intégrant l'effet du milieu naturel environnant, en particulier celui de la végétation, sur le recouvrement et sa performance.

Le projet de recherche vise à mieux comprendre et à évaluer de façon plus précise l'influence de la végétation sur la performance des recouvrements de type barrière à l'oxygène. Deux volets seront étudiés dans le cadre de cette étude. Le premier, qui sera réalisé sur la NPS du site Manitou, sera consacré à mesurer directement l'impact d'une végétation herbacée ensemencée sur les différentes composantes du bilan hydrique et à comparer ces mesures à des prédictions numériques. Le second volet sera quant à lui réalisé sur la CEBC du site Lorraine et consacré à évaluer l'influence de la végétation naturellement installée, en particulier les arbres, sur la performance du recouvrement à contrôler la migration des fluides (eau et gaz). L'originalité de la méthodologie proposée consiste à coupler, pour chacune des placettes, des mesures caractérisant la végétation, les changements affectant la CEBC liés à la présence de cette végétation et la performance de la CEBC. L'approche proposée consiste à caractériser les matériaux via des mesures sur le terrain et au laboratoire, ainsi qu'à comparer les résultats avec des prédictions numériques. Une bonne partie des travaux se dérouleront sur le terrain, afin de prendre en compte les variations réelles de performance.

Les résultats des travaux au site Manitou permettront d'évaluer pour une première fois l'impact réel de la végétation sur le bilan hydrique d'un recouvrement monocouche avec NPS. La capacité des modèles utilisés pour la conception des recouvrements à prendre en compte l'effet de la végétation sera évaluée. Les résultats obtenus au site Lorraine permettront de déterminer si la présence de végétation affecte la performance de la CEBC et, si oui, à quel niveau. Ce projet interdisciplinaire vise à s'assurer que les méthodes de restauration que l'on applique soient non seulement efficaces à court terme, du point de vue de l'ingénierie, mais également à long terme, lorsqu'intégrées dans l'écosystème environnant, s'inscrivant ainsi dans une perspective de développement durable.

##### **Partenaires du projet**

- lamgold
- Les mines Agnico Eagle Itée

**Résultats :** Rapport final prévu en août 2018

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

#### **4.5 Qualité de l'air dans les mines ultraprofondes: contrôle des émanations de moteur diesel**

**Chercheur responsable :** Maximilien Debia, Université de Montréal

##### **Résumé**

Le maintien d'une bonne qualité de l'air constitue un enjeu majeur pour l'exploitation et le développement durable des mines ultra profondes. Le contrôle des expositions aux émanations de moteurs diesel (EMD) est, dans ce contexte, une préoccupation importante avec l'utilisation de plusieurs types de camions et de machines équipés de moteur diesel. La classification récente des EMD comme substances cancérogènes pour l'homme (groupe 1) selon le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) et l'évolution de la réglementation dans plusieurs pays et provinces canadiennes concernant globalement les EMD ou certaines composantes spécifiques comme le dioxyde d'azote laisse présager l'apparition de nouvelles dispositions à venir. D'autant, que le Québec, fait figure de cas à part aujourd'hui, en réglementant la mesure des poussières combustibles respirables (PCR) pour contrôler l'exposition aux EMD, alors que les tendances internationales préfèrent comme indicateur la mesure du carbone élémentaire (CE) et carbone total (CT), ou encore celle du monoxyde de carbone (CO). Aucune étude n'a encore documenté de manière systématique les relations entre les différents indices utilisés pour évaluer les expositions professionnelles aux EMD et les principaux déterminants des expositions. Dans ce contexte, ce projet vise à (i) évaluer les niveaux d'exposition aux différentes composantes des EMD; (ii) identifier les principaux facteurs influençant l'exposition pour proposer des stratégies de maîtrise du risque approprié et (iii) évaluer les relations entre les différents indicateurs d'exposition.

L'étude d'une durée de trois ans [2015-2017] s'articulera autour de la mise en oeuvre de six campagnes d'échantillonnage (cinq jours consécutifs chacune) dans deux mines ultra-profondes du Québec (Laronde- AgnicoEagle et Westwood-lamGold). Les expositions professionnelles seront mesurées pour différents groupes d'exposition similaire à l'aide (i) de mesures de particules fines et ultrafines avec des appareils à lecture directe (P-trak, Dust-trak, Aerotrak, spectromètre de diamètres de mobilité électrique), (ii) des mesures intégrées avec des prélèvements sur filtres (CE et CT ; PCR) et (iii) des mesures en lecture directe des différents gaz (CO, NO et NO<sub>2</sub>). Pour chaque mesure, des données sur les déterminants de l'exposition seront collectées (type de tâche, paramètres de ventilation, conditions atmosphériques, moyens de maîtrise). Avec un objectif de 300 mesures en PCR et CE/CT, en plus du vaste panel de mesures à lecture directe, ces travaux permettront de constituer une importante et unique base de données quant à l'exposition aux EMD dans le secteur minier québécois. Ils serviront à préciser les meilleurs moyens de contrôles de cette exposition (tant sur le plan de la surveillance que sur le plan des méthodes de mitigation en identifiant les déterminants de l'exposition et les conditions de ventilation favorables). Les données recueillies permettront également d'évaluer la situation des mines profondes au Québec au regard de différentes avenues réglementaires et de prévoir ces changements avant qu'ils ne soient en vigueur. Ainsi, le projet pourra aider au développement du secteur minier en identifiant les conditions qui garantiront le contrôle de la qualité de l'air de ces mines.

##### **Partenaires du projet**

- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail
- Mines Agnico Eagle
- lamgold

**Résultats :** Rapport final prévu en septembre 2018

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

#### 4.6 Nouveaux développements en suivi par écoute microsismique

**Chercheur responsable** : Bernard Giroux, Institut National de la Recherche Scientifique

##### **Résumé**

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 du monitoring microsismique. Les outils devront fournir un résultat rapide, pour une prise de décision à une échelle quotidienne. Les objectifs spécifiques du projet sont de mettre au point 1) un algorithme de localisation des hypocentres tenant compte des changements de vitesse dans le massif rocheux et compatible avec les logiciels de modélisation géologique, 2) un algorithme de détection des événements microsismiques de faible magnitude qui permettra de suivre avec plus de précision la sismicité induite, et 3) une méthode permettant d'estimer et de mettre à jour la variation spatiale de la broyabilité de la roche.

Les résultats attendus se matérialiseront sous forme de programmes informatiques qui permettront de détecter des événements microsismiques de faible magnitude dans des environnements bruités, de localiser avec précision les événements en tenant compte des variations de la vitesse dans le massif rocheux, et un module de calcul et de mise à jour du modèle de broyabilité. Ces développements permettront de mieux évaluer les risques associés à l'extraction minière en profondeur et de mieux planifier et gérer l'exploitation, réduisant ainsi les coûts. Ces programmes seront compatibles avec les logiciels utilisés par l'industrie. Deux étudiants auront complété leur diplôme et pourront accéder au marché du travail et permettre le transfert des développements et de l'expertise vers l'industrie.

Par rapport à l'Ontario ou d'autres pays comme l'Australie ou l'Afrique du Sud, le Québec accuse un retard en ce qui a trait au suivi par écoute microsismique. Actuellement, relativement peu de mines québécoises comptent sur le monitoring microsismique pour planifier et gérer leurs opérations. Une des raisons est le manque de personnel qualifié pour interpréter les mesures microsismiques. Considérant le développement attendu de mines profondes au Québec, il est essentiel de rattraper le retard en ce domaine, ce que permettra le projet. La disponibilité de compagnies de services qualifiées en monitoring microsismique va permettre aux compagnies minières de profiter des avantages de la méthode et ainsi d'accroître leur compétitivité.

##### **Partenaire du projet**

- Géophysique GPR International Inc.

**Résultats** : Rapport final prévu en juillet 2018

**Durée du projet** : 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet** : 210 250 \$

#### **4.7 Cartographie minéralogique par télédétection pour l'aide à l'optimisation de la gestion des roches stériles**

**Chercheur responsable :** Kalifa Goïta, Université de Sherbrooke

##### **Résumé**

Un des défis de l'exploitation des mines à ciel ouvert est la gestion des roches stériles, puisque des enjeux environnementaux importants peuvent être reliés à ces dernières. Par exemple, elles peuvent contenir des minéraux qui, à court ou moyen terme, pourront être la cause de drainage minier acide ou de lixiviation de métaux. Si les roches stériles identifiées comme étant problématiques sont entreposées avec celles qui ne le sont pas, il peut y avoir de la contamination; qui pourrait avoir des conséquences importantes. À l'heure actuelle, déterminer les roches problématiques au fur et à mesure de la progression de la production minière est une tâche difficile et onéreuse, qui requiert des analyses minéralogiques ou chimiques de manière routinière.

L'objectif principal du projet est de développer un système de cartographie minéralogique basé sur la télédétection à très haute résolution spatiale et temporelle pour la gestion optimale des roches stériles pendant l'exploitation minière. Il s'agit là d'une nouvelle approche à faible coût utilisant la télédétection multispectrale étendue comme alternative à la donnée hyperspectrale beaucoup plus onéreuse. Le projet met de l'avant une approche méthodologique originale à plusieurs points de vue : i) l'utilisation de nouveaux types de données de télédétection à faibles coûts ; ii) l'approche de traitement des données basée sur la fusion évidentielle; iii) un système de cartographie minéralogique continue durant la phase de production. Le site choisi pour la recherche est la mine aurifère Canadian Malartic en Abitibi.

Le résultat final attendu du projet est un système de cartographie minéralogique qui exploite intelligemment les données de télédétection et d'autres données géoscientifiques pour produire une cartographie fine pendant la production. Le projet offre une grande opportunité pour l'avancement des connaissances, avec des publications scientifiques de qualité. C'est également le creuset pour la formation d'un étudiant au doctorat, de trois étudiants à la maîtrise et de deux stagiaires. Le projet revêt une importance stratégique indéniable. La première raison est que toutes les exploitations minières sont confrontées à la problématique de la gestion des résidus et ce problème est encore loin d'être optimisé, étant donné la difficulté à déterminer les propriétés géo-environnementales des roches au fur et à mesure que la production progresse. La méthode proposée permettra d'établir rapidement ces propriétés, ce qui aidera à trier les roches stériles. La seconde raison est que dans le contexte actuel, où l'activité minière s'étend de plus en plus vers les régions nordiques, qui sont éloignées et surtout fragiles, la mise à disposition d'un tel système permettra une meilleure caractérisation en temps réel du contenu des résidus, contribuant ainsi à une protection plus rigoureuse des milieux fragiles.

##### **Partenaire du projet**

- Golder Associés

**Résultats :** Rapport final prévu en juillet 2018

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 259 000 \$

#### **4.8 Développement d'une veste de refroidissement individuelle adaptée au travail en mines profondes**

**Chercheur responsable :** Stéphane Hallé, École de Technologie Supérieure

##### **Résumé**

L'exploitation minière à des niveaux souterrains allant au-delà de 2,5 km entraîne de nouvelles problématiques en santé et sécurité du travail. Les conditions de chaleur et d'humidité y sont extrêmes. Ces conditions représentent à la fois un frein à la productivité, un danger pour la santé des mineurs, mais aussi un impact sur leur sécurité pouvant conduire à des accidents du travail. De plus, la facture énergétique associée aux systèmes de ventilation augmente considérablement avec la profondeur d'une mine. Par conséquent, le développement de méthodes de refroidissement alternatives est nécessaire. L'objectif de ce projet est d'offrir aux mineurs, soumis à des contraintes thermiques extrêmes, des conditions de travail plus confortables tout en améliorant leur sécurité, et ce, en proposant un système personnel basé sur le refroidissement thermoélectrique. Suite à l'optimisation des composantes individuelles sur banc d'essai, ce système devra démontrer son efficacité avec sujets humains dans un environnement opérationnel simulé. Les perceptions des travailleurs seront ensuite recueillies quant au prototype conçu et pour plusieurs critères préalablement identifiés.

Dans un premier temps, ce projet permettra de comprendre plus précisément les conditions réelles de travail des mineurs en mines profondes. Le développement d'une veste individuelle basé sur le refroidissement thermoélectrique permettra une diminution de la température corporelle qui conduira à une réduction de la contrainte et de l'astreinte thermique subie par les mineurs. Cette amélioration des conditions de travail devrait se traduire par une diminution des effets pathologiques de la chaleur, de la fatigue et conduira à une amélioration du temps et de qualité de la récupération, de même qu'au port volontaire de l'équipement de protection individuelle proposé. De ce fait, il en découlera une diminution du nombre d'accidents reliés à la contrainte thermique et une augmentation de la productivité des mineurs. Les résultats de l'étude conduiront au dépôt d'un ou plusieurs brevets industriels ainsi qu'à des publications scientifiques dans des journaux avec comité de pairs, des conférences nationales et internationales, de même que des conférences destinées aux praticiens du secteur minier québécois, maximisant ainsi l'échange de connaissances.

##### **Partenaire du projet**

- Mawashi protective clothing inc.

**Résultats :** Rapport final prévu en novembre 2018

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 288 000 \$

**4.9 Définir, développer, déployer, tester et valider des technologies et procédés avancés de surveillance, de contrôle et d'automatisation afin de permettre l'opération à distance de foreuses rotatives**

**Chercheur responsable** : Faramarz Ferri Hassani, Université McGill

**Résumé**

Le partenariat entre l'Université McGill, ArcelorMittal Mines Canada et Peck Tech Consulting Ltd a pour objectifs de définir, développer, déployer, tester et valider des technologies et des procédés avancés de surveillance, de contrôle et d'automatisation afin permettre l'opération à distance de foreuses rotatives.

Le projet sera réalisé en trois phases et les résultats attendus sont:

- Phase 1 : L'opération à distance de la foreuse à partir de la zone de travail de celle-ci avec contact visuel et auditif direct.
- Phase 2: L'opération à distance de la foreuse à partir du site minier sans contact visuel ou auditif direct.
- Phase 3 : L'opération à distance de la foreuse à l'extérieur du site minier sans contact visuel ou auditif direct.

Les retombées escomptées et les principales mesures du projet sont:

- L'élimination des coûts relatifs au déplacement et l'hébergement des opérateurs sur le site minier.
- La diminution des coûts de main d'oeuvre pour les opérateurs.
- La diminution de l'exposition des opérateurs aux conditions climatiques nordiques et aux risques de sécurité.
- L'amélioration de la performance moyenne de l'équipement.

**Partenaires du projet**

- Arcelor Mittal Mines Canada
- Peck Tech Consulting Ltd

**Résultats** : Rapport final prévu en août 2018

**Durée du projet** : 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet** : 300 000 \$

#### **4.10 Augmentation de l'efficacité énergétique des locomotives en optimisant la charge thermique et pneumatique**

**Chercheur responsable :** Adrian Ilinca, Université du Québec à Rimouski

##### **Résumé**

L'objectif principal de ce projet est d'améliorer l'efficacité énergétique, diminuer la consommation de combustible et les émissions de GES dans le transport ferroviaire minier. La récupération de l'énergie de freinage des trains, l'hybridation pneumatique et l'opération en conditions optimales d'efficacité des locomotives seront combinées avec le stockage de chaleur et d'air comprimé. L'hybridation pneumatique consiste en l'injection d'air comprimé stocké dans le moteur dans des conditions permettant d'optimiser son efficacité. Développée par l'équipe de recherche pour des systèmes hybrides éolien-diesel avec stockage d'air comprimé, elle a été appliquée récemment aux véhicules terrestres. Dans une récente publication, nous avons évalué les avantages de l'application de cette technologie pour les véhicules routiers. Lors du freinage, le moteur du véhicule agit comme un compresseur et génère de l'air comprimé qui est stocké. La chaleur dégagée lors de la compression est récupérée. Lors des accélérations, l'air comprimé stocké est injecté dans le moteur afin de réduire la consommation de carburant. Pour les véhicules routiers, la réduction de carburant est de 17% pour le cycle NEDC (autoroute) et jusqu'à 60% pour le cycle urbain ARTEMIS.

Les retombées escomptées dans ce projet : Nous allons concevoir un système de récupération et stockage de chaleur et air comprimé combiné à l'hybridation des moteurs de locomotives. Le nouveau système utilisera une partie des équipements des systèmes actuels de freinage pneumatique mais ajoutera un système de récupération, stockage et distribution de chaleur en plus des modifications à l'alimentation des moteurs diesel. Nous nous attendons à un niveau d'économie de carburant semblable à celui des véhicules routiers qui peut se traduire, en fonction du trajet, dans une réduction entre 17% et 60%. L'application ailleurs dans l'industrie ferroviaire minière aura un impact important sur la consommation de carburant et la réduction des émissions de GES (possible réduction globale de 20-25%).

##### **Partenaire du projet**

- Transport Ferroviaire Tshiuetin inc.

**Résultats :** 1<sup>er</sup> mars 2019

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

#### **4.11 Revégétalisation de sites miniers à l'aide d'un nouveau concept agroforestier d'hydroensemencement herbacé et de plantation de ligneux biofortifiés avec des microsymbiotes racinaires**

**Chercheur responsable :** Damase Khasa, Université Laval

##### **Résumé**

L'industrie minière est une source importante d'emplois et de retombées économiques, contribuant de façon significative à l'économie québécoise et à son rayonnement international, bien qu'elle peut altérer de manière drastique les écosystèmes et le paysage du territoire québécois. Le développement durable du secteur minier québécois doit viser le rétablissement des biens et services écosystémiques après l'exploitation minière. En vue de réduire l'impact écologique des activités minières, en améliorer l'acceptabilité sociale et la compétitivité, il est important de développer des technologies novatrices pour relever à la fois les défis environnementaux et les défis techniques du secteur minier québécois. Ce projet vise à développer un nouveau concept agroforestier d'hydroensemencement herbacé et de plantation de ligneux biofortifiés avec des microsymbiotes racinaires pour la restauration des sites miniers. Les objectifs visés sont: i) de déterminer le mélange optimal d'hydro-ensemencement herbacé (graminée et légumineuse) biofortifié ou non avec des microsymbiotes racinaires sur les résidus fins et sur les haldes stériles; ii) d'évaluer la bioproduktivité, la biodiversité et la biocomplexité d'un système agroforestier en mésocosme soumis aux traitements d'hydrogel, de biochar et d'un consortium microbien contenant des mycorhizes et des rhizobactéries promotrices de croissance des plantes; iii) d'établir et d'évaluer la bioproduktivité, la biodiversité et la biocomplexité d'un système agroforestier en milieu réel; et iv) de coordonner, communiquer et disséminer les résultats et l'information générés auprès des utilisateurs potentiels du secteur minier québécois (les ministères, les organismes gouvernementaux, les établissements de recherche, les milieux de pratique et les entreprises).

Les résultats attendus de ce projet sont: i) le développement d'un savoir-faire nécessaire pour revégétaliser les rejets de minerais aurifères avec le nouveau concept agroforestier en mélangeant les espèces herbacées et ligneuses; ii) le développement des outils génomiques pour le biomonitoring et l'analyse moléculaire, des techniques de suivi de la technologie pour en évaluer la performance spatio-temporelle; iii) le développement des outils utilisables lors d'efforts de revégétalisation de résidus sur des terrains présentant des propriétés différentes; iv) l'accroissement par la recherche et la formation de nouvelles compétences et expertises scientifiques et technologiques dans un domaine tel que la bioingénierie de l'environnement minier dont le Québec a un urgent besoin pour sa prospérité économique et le développement durable de son secteur minier.

Les retombées escomptées et/ou les organismes participants font que: i) dans le souci du développement durable, l'exploitation minière va entraîner la création de régions écologiquement et socio-économiquement viables pour les populations avoisinantes et d'importantes retombées socioéconomiques pour le Québec; ii) la nature de la recherche qui sera conduite peut aboutir à des percées scientifiques potentiellement brevetables; et iii) la diffusion et le transfert des connaissances auprès des utilisateurs potentiels des résultats de la recherche va contribuer de façon significative à la prospérité économique du Québec et à son rayonnement aux niveaux national et international.

##### **Partenaires du projet**

- Integra Gold Corp.
- Mine Lamaque, Century Mining Corporation
- Fournier & Fils Inc.
- Roche Ltée
- Ressources Métanor Inc.

**Résultats :** Rapport final prévu en août 2018

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 295 000 \$

#### **4.12 Étude du comportement et de la biodisponibilité de l'uranium, du thorium et de leurs produits de filiation dans des résidus miniers pour des fins de valorisation**

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

##### **Résumé**

Ce projet vise l'étude du comportement et de la biodisponibilité de l'uranium, du thorium et de leurs produits de filiation dans des résidus de transformation d'un minerai de niobium pour des fins de valorisation. Cette étude est essentielle puisqu'elle permettra de mieux comprendre la distribution environnementale, la spéciation et les risques environnementaux associés à la présence de radioactivité dans l'industrie minière. Pour ce faire, trois axes de recherche ont été identifiés, soit un premier sur l'état séculaire et son impact toxicologique, un second sur la mobilité des radionucléides et un troisième sur la biodisponibilité de ces derniers.

L'organisation de la recherche nous permettra de mieux comprendre l'impact du traitement minier sur la mobilité et la biodisponibilité de l'uranium, du thorium et de leurs descendants. Ces trois aspects, critiques pour l'évaluation de l'impact toxicologique, représentent un élément essentiel pour la valorisation des résidus miniers en lien avec le développement durable du secteur minier et favoriseront l'acceptabilité sociale de tels projets.

Les résultats de ce projet mettront en lumière les radionucléides problématiques en lien avec les aspects énoncés précédemment et permettront de proposer des stratégies de mitigation associées à la gestion et la revalorisation des résidus miniers.

Bien que le projet s'oriente vers la valorisation des résidus de la mine de Niobec à St-Honoré, la portée des travaux permettra d'étendre les données recueillies à l'ensemble du secteur minier actuel et également aux projets en émergences (mines d'uranium, de terres rares et de phosphates). Les connaissances scientifiques ainsi que les chercheurs formés (12 personnes hautement qualifiées) permettront de combler des lacunes au Québec en lien avec les risques environnementaux associés à la composante radioactive des gisements miniers. Les manquements dans ce domaine ont d'ailleurs été soulevés durant les audiences du Bureau des audiences publiques en environnement sur les enjeux de la filière uranifère au Québec.

Le projet regroupe des intervenants de trois sphères distinctes, soit le domaine universitaire (D. Larivière – ULAVAL, C. Fortin – INRS, K. Wilkinson – UdeM), minier (T. Tremblay et A. Ouellet – Niobec) et gouvernemental (G. Triffault-Bouchet et N. Paquet - MDDELCC). Les fortes interactions entre ces trois sphères permettront une approche intégrée partant de la problématique industrielle aux développements d'outils scientifiques permettant la mise en place de législation appropriée basée sur des données scientifiques applicables au territoire et aux conditions environnementales québécoises.

##### **Partenaire du projet**

- Niobec inc.

**Résultats** : Rapport final prévu en juillet 2018

**Durée du projet** : 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet** : 300 000 \$

#### **4.13 Remblayage des chantiers et disposition des rejets solides pour un développement minier sécuritaire et durable: Études de l'interaction entre les remblais et les structures encaissantes dans des mines profondes**

**Chercheur responsable :** Li Li, École Polytechnique de Montréal

##### **Résumé**

Le remblayage des chantiers (RC) miniers est devenu une opération de routine pour la plupart des mines souterraines. Mais les connaissances sur le comportement hydro-géotechnique des remblais en interaction avec les structures encaissantes (parois rocheuses et barricades) restent encore très limitées, de sorte que la conception des chantiers remblayés et des barricades se fait souvent d'une façon largement empirique (et approximative), avec les risques que cela peut entraîner. Ceci est particulièrement le cas pour l'application du remblai dans les mines profondes dont la compréhension est encore plus limitée.

L'objectif du projet de recherche proposé est d'approfondir nos connaissances sur le comportement hydro-géotechnique des remblais (hydrauliques et en pâte) cimentés en interaction avec les structures encaissantes afin de réduire l'empirisme (et les incertitudes) dans la conception des chantiers remblayés et des barricades pour les mines profondes. La réduction du potentiel des coups de terrain par le RC sera également analysée. La réalisation du projet devrait permettre de rendre les opérations minières en profondeur plus économiques et plus sécuritaires. Cela favorisera l'utilisation du RC, réduira la quantité de rejets déposés en surface et diminuera l'impact environnemental à la fermeture des opérations. En ce sens, ce projet qui s'inscrit dans le « Créneau 1 : Exploration et exploitation minière en profondeur » aura également des retombées positives pour le « Créneau 4 : L'impact du développement minier sur l'environnement et sur les communautés » du Programme FRQNT. Pour atteindre l'objectif principal du projet, des essais au laboratoire et des modélisations numériques seront réalisés. Le comportement des chantiers remblayés et la stabilité des barricades seront analysés en tenant compte de l'influence de la profondeur sur la convergence des parois rocheuses (une caractéristique particulière des mines profondes), ainsi que des excavations et du remblayage de chantiers voisins. La réduction du potentiel de coups de terrain par le RC sera également investiguée en appliquant une méthode d'évaluation proposée par une équipe de l'École Polytechnique de Montréal. Les travaux de recherche proposés ici sont originaux et peu documentés dans la littérature. Les aspects novateurs du projet incluent l'utilisation de géodrains dans les chantiers remblayés pour accélérer le drainage des remblais et la considération des propriétés évolutives des remblais en fonction du drainage et de la consolidation, du temps de cure, et des pressions de confinement.

##### **Partenaires du projet**

- Mines Agnico Eagle Itée
- Iamgold

**Résultats :** Rapport final prévu en septembre 2018

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 234 000 \$

#### 4.14 Prédiction et traitement passif du drainage minier en climat nordique

**Chercheur responsable :** Carmen Mihaela Neculita,  
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

##### Résumé

L'instabilité chimique des minéraux sulfureux dans les résidus de concentrateur et les stériles de mine, suite à l'exposition à l'air et à l'eau, peut entraîner la production d'acide sulfurique et la libération des métaux. Ces eaux contaminées sont appelées drainage minier acide (DMA), lorsque le pH est acide (< 6), et drainage neutre contaminé (DNC), lorsque le pH est près de la neutralité. La prédiction de la qualité de l'eau de drainage s'écoulant à travers les rejets miniers est alors capitale afin d'en minimiser l'impact environnemental. Le traitement efficace à long terme est aussi crucial parce qu'une fois généré, le drainage minier (DM) peut devenir un problème majeur de l'industrie minière. Des bonnes connaissances sur la prédiction de l'évolution de la qualité des eaux de drainage peuvent donc permettre d'anticiper le système de traitement du DM le plus approprié. Plusieurs outils permettent la prédiction du potentiel de génération de DMA, mais ces outils peinent à statuer sur le comportement géochimique de rejets miniers faiblement générateurs. Lorsqu'il y a génération de DM, le traitement passif, notamment le bioréacteur passif sulfato-réducteur (BPSR), représente une option durable et très utilisée en climat tempéré ou semi-aride. Nonobstant les avancées scientifiques récentes, l'impact des conditions nordiques, caractérisées par des basses températures et salinité élevée (20-40g/L), pose d'importants défis tant sur la justesse de la prédiction du DM que sur l'évolution de l'efficacité du BPSR. Comme la prédiction et le traitement du DM en climat nordique sont influencés par les mêmes facteurs et qu'ultimement l'un influence l'autre, il nous a semblé opportun de traiter des deux sujets dans le même projet de recherche. Jusqu'à maintenant, les travaux de recherche sur la prédiction du DM et son traitement passif en BPSR dans la province du Québec ont été surtout réalisés par les membres de l'équipe des chercheurs de ce projet. Ce projet de recherche s'insère donc dans la suite de ces travaux très originaux réalisés par notre groupe de recherche UQAT-Polytechnique depuis plus de 15 ans. Il vise l'accroissement des connaissances sur l'influence de basses températures et de la salinité sur la justesse des prédictions de la qualité des eaux de drainage issues des rejets miniers en climat nordique et sur l'efficacité du traitement passif du DM. L'approche méthodologique va consister à progresser de la plus petite échelle vers la plus grande, par des essais en « batch » et en colonne, au laboratoire et sur le terrain du partenaire industriel du projet (mine Raglan). Dans le climat nordique, caractérisé par une fragilité particulière du milieu, il est crucial de bien prédire et traiter le DM. Les résultats obtenus permettront, grâce à une compréhension avancée des fondamentaux, de meilleures applications à grande échelle sur le site du partenaire industriel de ce projet, Mine Raglan, et ailleurs. Les résultats pourront aussi s'avérer très importants pour l'éventuel Plan Nord. Enfin, ce projet permettra de former du personnel hautement qualifié pour l'industrie minière, notamment via la formation de deux étudiants au doctorat.

##### Partenaire du projet

- Mine Raglan, Glencore Canada Corporation

**Résultats :** Rapport final prévu en septembre 2018

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

#### **4.15 Études électromagnétique et géoélectrique de hautes puissances appliquées à la prospection de gîtes de sulfures massifs profonds et à la discrimination spectrale de différents types d'anomalies de chargeabilité électrique au Québec**

**Chercheur responsable :** Marc Richer-Lafèche, Institut National de la Recherche Scientifique

##### **Résumé**

Ce projet de recherche vise l'exploration minérale profonde de gîtes minéraux par des méthodes géophysiques électromagnétiques et géoélectriques, du domaine fréquentiel, essentiellement peu utilisées au Canada. Dans le cadre de ce projet, des équipes multidisciplinaires universitaires INRS-UQAT-UPMC et industrielle (Zonge International) collaboreront à la validation et à l'amélioration de méthodes électromagnétiques à champs lointain (MT-AMT-CSAMT), transitionnel ou proche (CSEM). Un aspect important du projet de recherche consiste en l'extraction et la quantification de la chargeabilité électrique qui est une constituante du signal CSEM enregistré sur le terrain.

La modélisation de la chargeabilité électrique, issue de la CSEM, devrait permettre de localiser des minéralisations profondes en terrains résistants jusqu'à ce jour non détectables par la faible pénétration verticale des levés de chargeabilité électrique réalisés dans le domaine temporel (TDIP). Des levés à forte pénétration verticale seront réalisés dans des secteurs hautement minéralisés des Appalaches (Cambrien-Dévonien), du Pontiac (Belleterre) et de l'Abitibi (Archéen). Ces travaux seront réalisés conjointement avec des études pétrophysiques détaillées d'échantillons provenant de carottes de forage, incluant entre autres, des mesures de résistivité complexe (signatures spectrales). En plus de la détection directe d'amas sulfurés, l'équipe s'attardera à l'étude des caractéristiques géophysiques et géologiques des unités encaissantes et des épontes altérées des gisements. Ces structures sont susceptibles d'être détectées à de grandes profondeurs et ce, indépendamment de la dimension des amas sulfurés.

Ce projet de recherche devrait permettre la formation d'un groupe de recherche spécialisé en géophysique profonde minière. Le projet implique la formation d'étudiants gradués (doctorants), de stagiaires professionnels universitaires ainsi que de techniciens et professionnels nécessaires à la logistique et à la réalisation des levés géophysiques de terrain. Pour maximiser le transfert des connaissances vers l'industrie, des séminaires, de la formation continue et des participations à des colloques nationaux et internationaux sont prévus. Le groupe de recherche devrait produire de nouveaux algorithmes et logiciels permettant le traitement des données CSEM.

##### **Partenaires du projet**

- Durango Resources Inc.
- Golden Hope Mines Ltd
- Les Mines J A G Ltée
- Uragold Bay Resources

**Résultats :** Rapport final prévu en décembre 2018

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 183 000 \$

#### **4.16 Extraction et enrichissement de terres rares contenues dans les résidus miniers par liquides ioniques fonctionnalisés**

**Chercheur responsable :** Dominic Rochefort, Université de Montréal

##### **Résumé**

Les terres rares entrent dans la fabrication de nombreux produits de haute technologie dont le marché mondial est estimé à 5000 G\$US. Ils représentent ainsi un enjeu économique et stratégique considérable. En 2004, la Chine, qui répond à plus de 96% de la demande mondiale, a réduit ses exportations, ce qui a entraîné une hausse d'un facteur 10 du prix des terres rares. Dès lors, l'extraction de terres rares à partir de sources alternatives comme celles trouvées dans les résidus miniers ont pris un essor considérable. C'est le cas notamment des argiles alumineuses qui sont traitées par la compagnie Orbite Aluminae pour produire de l'alumine haute pureté et qui contiennent entre 0.1% et 1% de terres rares comme le scandium et l'yttrium et d'autres métaux de haute valeur comme le gallium. L'extraction de terres rares de ce type de lixiviat nécessite des moyens d'extraction spécifiques qui peuvent être effectués au moyen de liquides ioniques fonctionnalisés dont le pouvoir d'extraction est supérieur à celui des solvants conventionnels.

Dans ce projet, l'extraction de terres rares en présence d'ions métalliques comme Al et Fe sera optimisée en modifiant la structure moléculaire du liquide ionique. Pour ce faire, des nouveaux liquides ioniques fonctionnalisés avec un groupement extractant basé sur la structure de l'acide diglycolique seront développés et caractérisés. Cette stratégie présente l'avantage de maximiser la concentration en extractant dans la phase organique et d'améliorer l'efficacité d'extraction, en plus de faciliter la récupération et réutilisation de la phase organique. L'efficacité d'extraction de ces nouveaux liquides ioniques ainsi que leur sélectivité envers les terres rares par rapport aux autres ions présents seront évaluées par extraction liquide-liquide à partir de solutions aqueuses acides. La récupération des terres rares extraites dans le liquide ionique sera évaluée par trois méthodes basées sur le stripping, l'électrodéposition et la pyrolyse. La synthèse des liquides ioniques les plus prometteurs sera mise à l'échelle pilote et les étapes d'extraction et de récupération seront adaptées au processus industriel en collaboration étroite avec le partenaire. L'objectif de ce projet est de développer une méthode d'extraction réutilisable, avec peu d'impact environnemental et applicable à l'extraction des terres rares à partir des résidus miniers par le partenaire industriel Orbite Aluminae dont les travaux d'ajout d'une unité d'extraction du scandium et du gallium sont présentement en cours. L'application de la technologie développée au cours du projet permettra de valoriser les sous-produits issus de l'industrie minière québécoise en créant de la richesse et des emplois dans un secteur en développement à l'échelle mondiale.

##### **Partenaire du projet**

- Orbite Aluminae

**Résultats :** Date du dépôt du rapport final à déterminer

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

#### **4.17 Développement de techniques de réhabilitation écologique prédictives: étude de la sélection naturelle d'arbres et herbacées (sur 50 ans) sur un dépôt de résidus acidogènes**

**Chercheur responsable** : Sébastien Roy, Université de Sherbrooke

##### **Résumé**

Le secteur minier est en pleine expansion au Québec et au Canada, mais ce secteur essentiel de l'économie canadienne fait actuellement face à une compétition internationale féroce et l'industrie doit impérativement réduire ses coûts d'exploitation pour survivre dans un contexte de faible valeur des métaux sur les marchés. Ceci est particulièrement vrai pour le secteur aurifère, avec le prix de l'or en chute libre depuis 2012. Tout comme les entreprises minières en opération, la collectivité québécoise doit gérer collectivement le passif que représente les nombreux sites miniers orphelins. Dans tous ces scénarios, il nous faut identifier des techniques nous permettant: 1- d'arrêter la translocation des contaminants miniers vers l'environnement naturel et 2- réhabiliter les écosystèmes affectés par plus d'un siècle d'activité minière prospère. Malheureusement, les coûts associés à la gestion des parcs de résidus actifs et orphelins sont très élevés et difficiles à assumer compte tenu de l'échelle des perturbations dont il est question. Un problème particulièrement critique est celui des résidus miniers acidogènes, lesquels génèrent du drainage minier acide (DMA) et permettent la dissémination de métaux lourds dans l'environnement (ruissellement, percolation, contamination de la chaîne alimentaire).

Ce projet nous permettra de développer une approche intégrée de revégétalisation de résidus miniers acidogènes, sans nécessité de préparation du terrain (amendements, notamment). Cette technique sera basée sur l'étude de la végétation complexe qui s'est établie naturellement, au cours des 55 dernières années (d'inactivité) sur le site minier historique Beattie (Duparquet, près de Rouyn-Noranda) en Abitibi-Témiscamingue.

Nous définirons quelles espèces d'arbres, arbustes, lichens et microorganismes se sont associées pour coloniser le site et quels assemblages (souvent sous forme de bosquets) ont eu le plus de succès (taux de survie et croissance synergique). Ces bosquets seront étudiés sous l'angle des traits fonctionnels: quelles caractéristiques chez ces végétaux et microorganismes ont permis leur participation à cette colonisation, leur croissance optimale dans de telles conditions? Quelles sont les caractéristiques « amalgamées » qu'un bosquet doit posséder qui lui permettra d'accélérer le développement autonome de ces écosystèmes qu'on cherche à recréer sur les sites miniers?

Nous répondrons à ces questions et trouverons des solutions pratiques, économiquement viables pour notre partenaire industriel. La recherche prévue constituera aussi une base solide d'information scientifique pour continuer un développement raisonné (et non plus empirique) des phytotechnologies basées sur les plantes pionnières et leur microflore. Nous visons la revégétalisation efficace et à très faible coût des sites miniers actifs et des sites miniers orphelins au Québec.

##### **Partenaires du projet**

- ArborInnov Inc.
- Clifton Star Resources Inc.
- Régénération
- Roche Ltd

**Résultats** : Date du dépôt du rapport final à déterminer

**Durée du projet** : 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet** : 299 595 \$

#### **4.18 Application du réacteur plasma à lit fluidisé pour le traitement de la pegmatite riche en lithium**

**Chercheur responsable :** Gervais Soucy, Université de Sherbrooke

##### **Résumé**

Le lithium se trouve sous forme de spodumène ( $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ ) contenant jusqu'à 8% d'oxyde de lithium ( $\text{Li}_2\text{O}$ ). Le produit principal du traitement du spodumène est l'hydroxyde de lithium ( $\text{LiOH}$ ) qui est très utilisé pour les piles lithium-ion dans les véhicules électriques. Afin de produire le  $\text{LiOH}$ , la structure cristalline du spodumène doit être convertie de la phase alpha à bêta en le passant dans un four rotatif chauffé à environ  $1050^\circ\text{C}$  par un brûleur à gaz, une étape appelée décrépitation. Cependant, la faible efficacité énergétique du procédé (40%), la faible efficacité de conversion et, autre aspect non négligeable, la production de gaz polluants ( $\text{CO}_2$  et  $\text{NO}_x$ ), font de la décrépitation une étape limitante dans le traitement de ce minerai. Ce projet a pour objectif général d'accroître l'efficacité du traitement de conversion du spodumène (sa décrépitation) en utilisant un réacteur plasma à lit fluidisé (RPLF). L'oxygène (plasma oxydant) ou un mélange d'argon-hydrogène (plasma réducteur) seront utilisés pour générer le plasma à l'intérieur du RPLF. Par la suite, les processus de cuisson avec de l'acide sulfurique et de lixiviation des échantillons produits par plasma dans un autoclave à haute pression seront également effectués afin d'évaluer l'efficacité de conversion. De plus, les techniques de caractérisation des matériaux, de diagnostics optiques du plasma et un modèle mathématique du réacteur à plasma thermique seront développés. Étant donné que le transfert de chaleur et de masse sont beaucoup plus rapides dans le RPLF (versus un four rotatif), il est prévu d'obtenir une plus grande efficacité énergétique, moins de combustible consommé, moins de production de gaz polluants ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), moins de production de fines particules, moins de phases vitreuses (affectant l'efficacité du procédé subséquent de purification et la production de déchets en solution), un taux de production plus élevé sous atmosphère et température contrôlés pour améliorer la conversion des concentrés de spodumène.

La compréhension de l'interaction thermochimique entre les particules solides et le plasma hautement réactif est un problème réel. Toute percée aidant à sa compréhension sera une contribution importante. Ce projet servira de base pour établir un nouveau centre d'excellence dans ce secteur en formant des PHQs nécessaires pour soutenir l'industrie du lithium au Québec. Par ailleurs, la diminution de la consommation de carburant et la diminution des rejets de gaz nocifs auront un impact positif sur l'environnement. Nemaska Lithium inc. qui développe actuellement son projet d'extraction de lithium dans la province de Québec est le partenaire industriel de ce projet. Il participera activement au projet en fournissant les informations relatives à l'usine, en particulier à propos des étapes de traitement du minerai avant et après le processus de conversion ainsi que les données sur la variabilité de la composition chimique des concentrés de spodumène.

##### **Partenaire du projet**

- Québec Lithium Inc.

**Résultats :** Rapport final prévu en juillet 2018

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 299 791 \$

#### **4.19 Valorisation dans les bétons de la silice amorphe issue de l'extraction du magnésium métallique contenu dans la serpentine**

**Chercheur responsable** : Arezki Tagnit-Hamou, Université de Sherbrooke

##### **Résumé**

À l'heure actuelle, la production de magnésium métallique (Mg) est principalement concentrée en Chine, et à partir d'un processus archaïque et polluant. La société québécoise Alliance Magnésium (AM) a élaboré et breveté une technologie révolutionnaire pour la production de magnésium à partir de la décontamination de sites d'exploitation de l'amiante. Ces sites contiennent en grande partie de la roche serpentine, résidu minier d'amiante contenant 25% de Mg, 40% d'oxyde de magnésium et 50% de silice. On compte environ 800 millions de tonnes de résidus de serpentine situés dans 2 régions précises (Asbestos et Thetford Mines) prêtes à être traitées. AM investira une somme totale de 535 M\$ dans la construction d'une usine de production dont la capacité serait de 50 000 tonnes par année.

Ce procédé d'extraction génère un résidu non toxique de silice amorphe (RSA). Pour l'amélioration continue de leur futur usine, AM s'intéresse à valoriser ses RSA dans le béton comme ajout cimentaire alternatif (ACA) en remplacement partiel du ciment portland (CP) dans le béton. Des sous-produits industriels à base de silice amorphe sont déjà utilisés dans les bétons comme ajouts cimentaires normalisés (ACN) : fumée de silice, cendres volantes et laitier de haut fourneau. Ces ACN sont utilisés pour un remplacement de 5% à 30% du CP pour conférer des propriétés mécaniques, de durabilité et environnementales au béton. Dans cette étude, des bétons composés de RSA seront investigués pour leurs propriétés mécaniques et de durabilité. Une optimisation de la formulation des bétons sera utilisée pour le coulage d'éléments réels (trottoirs, dalles, murs) dans le cadre de chantier in situ à la fin du projet. Ces chantiers sur le terrain serviront de vitrine technologique pour le processus de normalisation des RSA.

##### **Partenaire du projet**

- Alliance Magnésium

**Résultats** : Rapport final prévu en juillet 2018

**Durée du projet** : 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet** : 300 000 \$

**5. Résumés des projets financés lors du concours pour le volet *Perception sociale de l'industrie minière et acceptabilité sociale des projets miniers***

## 5.1 Perception sociale de l'industrie minière et acceptabilité sociale des projets miniers

**Chercheur responsable :** Jie He, Université de Sherbrooke

### Résumé

Sans une compréhension plus approfondie des points de vue de la majorité silencieuse, il existe aujourd'hui dans les régions du Québec un véritable dilemme entre exploitation minière et acceptabilité sociale. L'objectif général du projet est d'évaluer au Québec le décalage résultant entre les populations et les minières à l'égard de nouveaux projets miniers afin de mieux intégrer les préoccupations micro de la majorité silencieuse à travers les instruments macro couramment utilisées par les principales Parties Prenantes (PP). Les objectifs spécifiques sont de (1) définir l'acceptabilité sociale dans l'évaluation des projets miniers via les approches micro et macro que nous appellerons acceptabilité sociale et acceptabilité sociétale respectivement, (2) recenser et améliorer les connaissances des déterminants majeurs des acceptabilités sociale et sociétale en évaluant à l'aide de l'étude Choix Multi-Attributs (CMA) l'ampleur des leviers/freins potentiels (e.g. climat de confiance, croyances, influence des médias et réseaux sociaux) et (3) fournir aux Ministères concernés le cadre d'une méthodologie scientifique transposable aux différentes régions du Québec, projets industriels et acteurs mobilisés pour évaluer les critères d'acceptabilité sociale. Nous espérons pouvoir illustrer, par la comparaison des indices d'acceptabilités sociale/sociétale, l'existence de décalages existants entre les perceptions des minières, celles des autre PP actives et celles de la population. Une meilleure compréhension du concept d'acceptabilité sociale privilégiera davantage les attentes micro de la majorité silencieuse face aux projets miniers. L'exploitation des données micro permettra de valider ou invalider les démarches des minières dans l'amélioration de l'acceptabilité sociale. Les études de cas des minières aideront à généraliser des scénarios hypothétiques de projets miniers. L'expérimentation de différents scénarios de projets miniers auprès des populations (e.g. périodes de consultation des citoyens, responsabilité d'administration du projet, proximité des habitations) permettra de caractériser les attributs de l'acceptabilité sociale et leur niveau d'importance. Le Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) fait remarquer qu'«une grille de facteurs d'acceptabilité sociale est fournie seulement à titre indicatif» (MERN, 2015). Avec notre projet, les Ministères concernés seront dotés d'outils d'analyse pour évaluer les critères d'acceptabilité sociale et apprécier ces critères en fonction des efforts consentis par les promoteurs miniers. Le projet aidera à intégrer l'hétérogénéité des populations, la diversité des projets miniers et les caractéristiques régionales dans les politiques macroéconomiques de gestion des mines au Québec. Les minières auront plus de facilité à cibler les points de blocage des populations afin que leur projet minier puisse mieux converger vers l'acceptabilité sociale des populations. L'Association minière du Québec (AMQ) constate des difficultés à déterminer les facteurs influençant l'acceptabilité sociale des projets « puisqu'un éventail de mesures, en fonction des besoins, peuvent être proposées aux communautés ». Notre projet répond à cette préoccupation en étudiant les réactions des populations à des mesures compensatoires.

### Partenaire du projet

- ArcelorMittal

**Résultats :** Rapport final prévu en août 2018

**Durée du projet :** 2 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 150 000 \$

**Chercheur responsable :** Michel Jébrak, Université du Québec à Montréal

### Résumé

Objectifs : L'évaluation du risque social d'un projet minier doit se faire de manière précoce, dès que les grandes lignes industrielles sont esquissées, mais avant qu'elles ne soient figées. Nous développerons un outil de communication commun entre les explorateurs miniers, les investisseurs, les communautés et les gouvernements, afin d'identifier les points à bonifier dans un projet minier et de minimiser les risques pour toutes les parties prenantes. Nous avons développé jusqu'ici un indice partiel pour le Québec. Sur cette base, nous proposons :

- une extension de l'outil d'analyse du risque social, prenant en compte les aspects juridiques et politiques liés à différentes juridictions, et permettant des comparaisons avec des projets miniers canadiens et scandinaves;
- l'utilisation d'internet pour démocratiser l'accès à l'information et mieux accéder à la perception des parties prenantes.

Résultats attendus : Le projet proposé fera progresser notre compréhension du système projet minier/communauté dans deux directions. A) En élargissant les facteurs considérés aux volets juridiques et politiques, on comprendra mieux leur rôle dans l'acceptabilité sociale d'un projet. B) En recourant à une approche de web participatif, le projet collectera des données sur les perceptions individuelles. La rétroaction obtenue à partir des réponses des usagers permettra aux chercheurs de mieux comprendre les perceptions du public pour des projets miniers précis.

Le projet permettra de développer une méthode pour analyser de manière organisée les risques sociaux d'un projet minier. La plateforme web interactive offrira un outil accessible à tous pour décortiquer un projet minier et déterminer ses aspects les plus conflictuels. Bien que l'indice mette l'accent sur les aspects risqués des projets miniers, les informations rassemblées sur le site web permettront de contextualiser les risques.

Retombées escomptées : Le projet permettra de faire un bilan comparatif de plusieurs projets miniers dans différentes juridictions. On pourra ainsi faire la part de ce qui est relatif à la variation des juridictions, au rôle des communautés, aux dynamiques communicationnelles, etc. Ce type de travail a été très peu réalisé à l'échelle internationale. Il offre un point de vue différent par rapport aux travaux faits sur l'Australie, l'Amérique latine ou les États-Unis. Le projet permettra ainsi une contribution scientifique novatrice à un domaine épistémique en émergence, tout en consolidant l'équipe multidisciplinaire formée autour de celui-ci. L'établissement d'une démarche analytique sur les enjeux miniers permet aux différentes parties prenantes de trouver un terrain objectif de discussion, voire de mieux structurer les différents enjeux du débat. L'indice de risque social peut ainsi servir d'outil de dialogue et de vulgarisation scientifique en offrant à tous et chacun des éléments d'information et des liens documentaires sur l'industrie minière.

Organismes participants : À toutes les étapes du projet, l'équipe multidisciplinaire pourra compter sur l'expérience et des conseils de Goldcorp et de l'Association de l'exploration minière du Québec.

### Partenaires du projet

- Association de l'exploration minière du Québec
- Goldcorp

**Résultats :** Rapport final prévu en juillet 2018

**Durée du projet :** 2 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 150 000 \$

### **5.3 Analyse de la perception des québécois sur le développement des ressources minérales et comparaison de l'acceptabilité sociale avec le développement d'autres ressources naturelles**

**Chercheur responsable :** Michel Malo, Institut National de la Recherche Scientifique

#### **Résumé**

Objectifs – Les objectifs principaux sont d'évaluer le niveau de connaissances de la population par rapport au développement des ressources naturelles et de développer des guides pour favoriser l'acceptabilité sociale des projets de développement. Les objectifs secondaires sont : 1) Établir un portrait par région du Québec du niveau de connaissances sur les ressources naturelles (mines et hydrocarbures). 2) Déterminer quels sont les avantages et désavantages perçus par la population. 3) Déterminer quelles sont les attentes de la population par rapport au partage de la richesse et des bénéfices de l'exploitation des ressources. 4) Déterminer quels sont les principaux impacts appréhendés par la population. 5) Déterminer quel est le niveau de confiance des citoyens par rapport aux promoteurs du développement. 6) Comparer les deux filières de développement des ressources minérales et énergétiques.

Résultats attendus – Nous nous attendons à obtenir un portrait du niveau de connaissances et de la perception sociale des Québécois par région vis-à-vis le développement des ressources minérales. Nous voulons définir ce qui distingue la perception sociale du développement des ressources entre les citoyens vivant en milieu urbain et les autres qui habitent en région. Nous voulons comprendre en quoi ces perceptions diffèrent.

Retombées escomptées – L'acceptabilité sociale est souvent difficile à obtenir pour les promoteurs du développement minier. Nous nous attendons à obtenir une meilleure compréhension 1) du niveau de connaissances des citoyens sur le développement des ressources, 2) des craintes des citoyens par rapport au développement, 3) de ce qui doit être fait pour rendre les projets acceptables. Ces éléments permettront de définir des guides pour obtenir l'acceptabilité sociale des projets de développement minier au Québec.

Organismes participants - Le projet sera réalisé par des professeurs de l'INRS et de l'Université Laval en collaboration avec des chercheurs de la Commission géologique du Canada (CGC) et des praticiens du domaine de l'exploration minière au Québec des compagnies Osisko Redevances Aurifères et Stornaway. La nouvelle compagnie Osisko Redevances Aurifères est le résultat de la fusion des compagnies Mines d'Or Virginia et Osisko, deux compagnies qui sont à l'origine de la découverte des mines d'or Éléonore sur le territoire de la Baie James et Canadian Malartic en Abitibi, tandis que Stornaway est la compagnie qui développe la mine de diamants Renard sur le territoire de la Baie James. Les compagnies ont été en contact étroit avec les populations autochtones du territoire de la Baie James et la population de Malartic. Les chercheurs de la CGC ont développé des outils pour informer les populations autochtones du grand Nord canadien et celles du Sud de leurs travaux de terrain en lien avec l'industrie minière et/ou pétrolière afin d'obtenir une certaine forme d'acceptabilité sociale de leur présence sur les territoires étudiés. L'expertise de la CGC sur l'acceptabilité des projets géoscientifiques sera mise à profit dans le projet.

#### **Partenaires du projet**

- Osisko
- Les Diamants Stornaway (Canada)

**Résultats :** Rapport final prévu en juillet 2018

**Durée du projet :** 2 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 124 000 \$

## **6. Résumés des projets financés lors du 3<sup>e</sup> concours**

## **6.1 Émissions de poussières de résidus miniers - études de l'effet des méthodes et niveaux d'assèchement sur leurs propriétés physico-chimiques et impacts sur l'albédo du couvert nival**

**Chercheur responsable :** Patrick Ayotte, Université de Sherbrooke

### **Résumé**

L'usine Vaudreuil de Rio Tinto (RT), division Aluminium, a su stimuler et dynamiser la région du Saguenay depuis 1936 avec l'implantation de l'unique raffinerie de bauxite du Canada. L'exploitation de la bauxite et son raffinage afin d'en extraire l'aluminium, grâce au procédé Bayer (broyage mécanique, cristallisation, digestion, séchage), génère des résidus qui présentent certaines problématiques quant à la génération de poussières, leur emportement, leur dispersion et leurs impacts sur les écosystèmes et communautés environnants. Cette problématique est particulièrement aiguë au Site de Disposition de Résidus de Bauxite (SDRB) en conditions hivernales.

Le présent projet a pour objectif d'étudier trois enjeux stratégiques liés à la formation, la dispersion et l'impact des poussières sur le couvert neigeux. Les travaux s'articulent autour de prélèvements (résidus, neige) et d'observations des conditions SDRB et des mesures terrain et satellites de l'effet des poussières sur l'albédo de la neige. Ces investigations permettront de mieux appréhender les conditions de surface des amas de résidus et les conditions météorologiques propices à l'emportement de poussières en fonction de l'état d'assèchement des résidus. Ces informations permettront d'élaborer un indice de risque, basé sur une compréhension accrue des mécanismes d'emportement et l'identification des paramètres clés créant les conditions propices aux émissions fugitives, outils cruciaux dans la gestion des opérations au SDRB.

Ce projet conjugue les expertises de l'équipe Ayotte (Chimie) sur la physico-chimie de la glace et de l'équipe Royer (Géomatique) sur le suivi des propriétés de la neige par télédétection (Université de Sherbrooke), avec la participation de la division Aluminium de Rio Tinto (usine Vaudreuil). Le SDRB procurera un banc d'essai tout à fait approprié pour ce projet, mais les retombées pourraient être beaucoup plus larges, trouvant écho dans d'autres secteurs industriels faisant face à des préoccupations environnementales et sociales dues aux émissions de poussières en milieu nordique.

### **Partenaire du projet**

- Rio Tinto Alcan

**Résultats :** Rapport final prévu en septembre 2019

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 294 682 \$

## **6.2 Épaississement des pulpes de résidus miniers destinés à la déposition en surface ou à la fabrication des remblais en pâte cimentés à l'aide des polymères super-absorbants (PSA)**

**Chercheur responsable :** Tikou Belem, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

### **Résumé**

L'objectif principal de ce projet de recherche est d'évaluer expérimentalement l'utilisation des polymères super-absorbants (PSAs) dans l'épaississement/densification des pulpes de résidus miniers (PRM) destinés soit à la déposition en surface dans des parcs à résidus, soit à la fabrication de remblais épaissis/densifiés cimentés à consistance de pâte destinés au remplissage des chantiers ouverts sous terre. Les objectifs spécifiques du projet sont : i) d'optimiser les dosages en PSAs dans les PRMs; ii) d'évaluer des paramètres influençant les capacités d'absorption des PSAs; iii) d'évaluer la stabilité physique et chimique à long terme des PSAs avec l'eau absorbée et le potentiel de séquestration de métaux/métalloïdes lourds; iv) d'étudier les propriétés physico-chimiques, rhéologiques et mécaniques des remblais cimentés en pâte fabriqués avec des résidus miniers épaissis/densifiés à l'aide des PSAs.

Comme résultats attendus, il est anticipé que les objectifs visés de densification (% solide compris entre 70 et 90%) des PRMs pourraient être atteints en variant le dosage des PSAs et leur temps de résidence selon leur mode d'ajout. Aussi, des recommandations seront émises en vue de l'application de cette nouvelle technique d'épaississement/densification des pulpes de résidus à l'échelle du site minier par le biais d'essais pilotes complémentaires via la construction de cellules de terrains.

En termes de retombées escomptées, ce projet de recherche permettra l'acquisition de connaissances théoriques et techniques sur le potentiel d'utilisation des PSAs pour l'épaississement/densification des pulpes de résidus destinées à l'entreposage dans les parcs à résidus (en surface) et dans la fabrication des remblais cimentés en pâte destinés au remplissage des vides souterrains. La réalisation de ce projet permettra à terme de pouvoir réduire drastiquement les coûts liés à la gestion des parcs à résidus ainsi qu'à celle des eaux minières. Cette réduction des coûts serait attribuable à l'amélioration considérable anticipée de la capacité de déshumidification des pulpes de résidus à un coût raisonnable et possiblement à l'élimination des unités conventionnelles de cyclonage, d'épaississement et/ou de filtration des pulpes de résidus dans les usines de traitement et/ou de remblai cimenté en pâte. Aussi, il est anticipé une réduction des coûts liés aux traitements des eaux dans l'éventualité où les possibilités de rétention des métaux et métalloïdes lourds seraient encourageantes.

Ce projet sera réalisé à l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT) en collaboration avec le Centre National en Électrochimie et en Technologies Environnementales (CNETE) du Collège Shawinigan, l'Université de Sherbrooke et Partenariat Mines Agnico Eagle Ltée et Yamana Gold. Il permettra de former du personnel hautement qualifié (PHQ) et de développer de nouvelles connaissances qui seront transférées à l'industrie minière et à tous les autres utilisateurs des secteurs publics et privés œuvrant en environnement minier.

### **Partenaire du projet**

- Mine Canadian Malartic

**Résultats :** Rapport final prévu en novembre 2019

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

### **6.3 Développement de procédés de gestion/valorisation des rejets miniers et de résidus de procédés issus de l'extraction et de la concentration des terres rares à partir de roches de type carbonatites**

**Chercheur responsable :** Jean-François Blais, Institut National de la Recherche Scientifique

#### **Résumé**

Les terres rares (TR) ont permis le développement de technologies de plus en plus performantes dans divers secteurs d'activités. Ceci entraîne une demande grandissante des TR et une augmentation de leur consommation, encourageant le développement en milieu nordique de l'exploitation des TR et du secteur minier. Cependant, ces exploitations minières peuvent générer des rejets potentiellement contaminés par des éléments radioactifs (Th, U, etc.), des TR (Ce, La, Y, etc.), des métaux (Be, Ba, As, Cd, Co, Zn, etc.) et des anions (F-, PO4<sup>3-</sup>, etc.). Il est donc primordial de développer des technologies de gestion et de valorisation de ces rejets potentiellement toxiques, applicables dans un milieu nordique isolé et fragile. Les procédés hydrométallurgiques sont des approches de choix, car ils permettent d'extraire les contaminants présents dans les rejets miniers, améliorant ainsi le potentiel de valorisation des résidus solides et réduisant les quantités de déchets rejetées et donc leur impact sur l'environnement.

Le présent projet de recherche, d'une durée de trois ans, est basé sur un partenariat entre une industrie minière (Commerce Resources Corp), des firmes de consultants (Norda Stelo et Dahrouge Geological Consulting Ltd) et deux centres de recherche (INRS et CTRI). Les objectifs principaux de ce projet sont de développer de nouvelles technologies de gestion et de valorisation des rejets miniers et des résidus de procédé d'extraction adaptées à l'exploitation des TR en milieu nordique et de former de nouveaux spécialistes et experts. Dans ce cadre, les objectifs de ce projet sont multiples et visent à : a) caractériser les résidus miniers et évaluer la disponibilité des contaminants (PO4<sup>3-</sup>, F<sup>-</sup>, Th, Ra, Ba, Cd, Mn, Zn, etc.) lors de leur stockage; b) développer un procédé de stabilisation des contaminants présents dans les rejets miniers; c) traiter les eaux de drainage; d) caractériser les résidus solides (riches en CaF<sub>2</sub>) issus des étapes d'extraction des TR; e) développer un procédé d'extraction du Th présent dans ces résidus et dans les effluents issus de l'étape d'extraction; f) évaluer le potentiel de valorisation de ces résidus après extraction des contaminants et g) réaliser une étude technico-économique des procédés développés.

La réalisation de ce projet fournira un inventaire des contaminants problématiques (métaux, TR, Th, etc.) présents dans les rejets miniers et leur disponibilité dans l'environnement. Des méthodes de stabilisation des résidus et de traitement des eaux de drainage, applicables en milieu nordique, seront également développées. Un concentré de CaF<sub>2</sub> pur et commercialisable auprès de certaines industries sera également obtenu. L'une des retombées de ce projet sera la diminution des impacts environnementaux liés à l'exploitation des TR du projet minier Ashram suite au développement de technologies de stabilisation/traitement/valorisation des résidus. Les procédés de purification du concentré de CaF<sub>2</sub> permettront également de réduire la taille des parcs à résidus et l'importation de cette matière première par les alumineries et les aciéries. Enfin, les connaissances acquises pourront être appliquées aux autres gisements de TR présents au Québec et au Canada.

#### **Partenaire du projet**

- Commerce Resources

**Résultats :** Rapport final prévu en décembre 2019

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

#### **6.4 Développement d'une approche méthodologique visant à intégrer les changements climatiques à la conception des ouvrages de rétention des résidus miniers et de restauration**

**Chercheur responsable :** Bruno Bussière, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

##### **Résumé**

Au Québec, le réchauffement climatique impliquera, dans les prochaines années, un accroissement des températures et des événements de précipitation moyens et extrêmes. Face à cette situation, le secteur minier québécois se doit de réagir rapidement et d'adapter certaines de ces approches actuelles afin de minimiser les risques environnementaux, économiques et sociaux. En raison d'une durée de vie plus longue (plusieurs centaines d'années) et sachant qu'aucun outil ne permet actuellement de prendre en considération les changements climatiques (CC) dès leur conception, le comportement post-exploitation des ouvrages de restauration et de rétention des résidus miniers (solide et liquide) est considéré comme l'une des principales menaces de l'industrie minière. L'augmentation de la durée des événements de sécheresse ainsi que de la fréquence et de l'intensité des précipitations (moyennes et extrêmes) pourrait effectivement conduire à un accroissement des risques environnementaux à long terme, soit à une diminution de la performance des méthodes de restauration et à un risque accru d'instabilité physique des parcs à résidus miniers. L'objectif général du présent projet consiste à proposer une approche méthodologique concrète permettant d'intégrer les CC dès la phase de conception des infrastructures minières méridionales du Québec. La proposition de travail vise à : (i) identifier les conditions météorologiques futures permettant de prendre en considération l'augmentation de l'intensité et de la fréquence des événements extrêmes (précipitations et sécheresses); (ii) évaluer la performance des méthodes de restauration de plus en plus utilisées dans le sud du Québec (i.e., couvertures avec effets de barrière capillaire; recouvrement monocouche avec nappe surélevée) et des ouvrages de rétention dans le contexte des CC; (iii) évaluer l'impact des CC sur la gestion des eaux. Les principaux résultats attendus sont : (i) une amélioration des connaissances actuelles sur la performance à long terme des ouvrages de rétention et de restauration; (ii) la modification et le développement de critères de conception intégrant les CC; (iii) des propositions pratiques pour l'intégration des CC dans la conception des parcs à résidus miniers et des méthodes de restauration. Dans le cadre de ce projet, l'évaluation de l'impact des CC sur les ouvrages de restauration et de rétention des résidus miniers sera réalisée à partir d'études de cas concrètes en Abitibi-Témiscamingue (i.e., sites miniers Manitou, Doyon-Westwood, Lorraine et Canadian Malartic); les sites à l'étude sont sous la responsabilité des partenaires impliqués (Iamgold, Canadian Malartic GP) ou du gouvernement (MERN). Toutefois, l'approche méthodologique proposée sera applicable à d'autres sites au Québec. À la fin du projet, les gestionnaires des sites miniers pourront alors anticiper, dès la phase de conception, les effets des CC sur la performance et l'intégrité des infrastructures les plus vulnérables (i.e., parcs à résidus et méthodes de restauration), ce qui améliorera l'acceptabilité sociale des projets miniers actuels et futurs. L'implication des partenaires industriels et l'accès à des laboratoires à la fine pointe (UQAT, Polytechnique, Ouranos) garantira un environnement de recherche de grande qualité pour les étudiants formés dans le cadre de ce projet.

##### **Partenaires du projet**

- IAMGOLD
- Partenariat Canadian Malartic

**Résultats :** Rapport final prévu au début de l'année 2020

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

## **6.5 Nouvelle stratégie de mesures géophysiques en souterrain dédiée au développement des mines profondes**

**Chercheur responsable :** Li Zhen Cheng, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

### **Résumé**

Les mines, notamment celles dans le nord-ouest québécois, exploitent le minerai à des profondeurs de plus en plus grandes, ce qui pose un défi grandissant en termes d'évaluation des ressources en métaux, de méthodes d'exploitation, influençant grandement les coûts et, conséquemment, la prise de décision. Le projet proposé mise sur l'application de techniques géophysiques souterraines novatrices mises en œuvre en milieu souterrain et combinant les informations provenant des mesures géophysiques à la surface, en forages et dans des galeries souterraines. L'objectif visé est d'accroître la profondeur d'investigation en trois dimensions et d'ainsi contribuer à augmenter, à moindre coût, la précision de l'évaluation des ressources et réserves en profondeur. Ces développements s'inscrivent directement dans la perspective du Créneau 1 du « Programme de recherche en partenariat sur le développement durable du secteur minier » du FRQNT.

La mine LaRonde (puits Penna), qui atteint une profondeur de 3,1 km, est parmi les dix mines les plus profondes au monde. Une telle profondeur constitue un environnement de travail complexe, notamment en ce qui concerne : 1) le renouvellement des réserves, lesquelles dépendent de la quantité de minerai et aussi de sa teneur, et 2) l'évaluation des conditions physiques du massif rocheux. Tout ceci amène à la nécessité de développer des techniques permettant/facilitant l'exploration profonde. Ceci permettra de prolonger la durée de vie des mines souterraines, d'optimiser les installations existantes, et de réduire les risques pour la sécurité des travailleurs. L'avantage net des méthodes géophysiques est leur capacité à fournir des informations géologiques entre et sous les galeries souterraines de même que d'augmenter le rayon d'investigation des forages. Les résultats attendus du projet seront une nouvelle méthodologie des mesures géophysiques qui s'adapte à la situation de l'exploration et l'exploitation minière à très grande profondeur; l'identification des impacts sur les mesures, un nouvel algorithme sur l'élimination de bruits typiques dans les mines profondes; et une amélioration des algorithmes d'interprétation de données électriques et électromagnétiques adoptés pour des configurations de mesure non conventionnelles. L'ensemble des résultats seront intégrés dans un protocole novateur. Ce protocole sera diffusé aux compagnies minières au Canada et dans le monde, le défi étant commun à toutes les mines souterraines profondes.

Ces développements sont basés sur une collaboration multidisciplinaire entre les chercheurs de l'Institut de recherche en mine et en environnement de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, de Ressources naturelles Canada et du Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue. Deux partenaires industriels (Abitibi Géophysique inc. et Mines Agnico Eagle Ltée, division LaRonde) et leur personnel se greffent également à cette équipe. Une telle collaboration multidisciplinaire peut nous assurer un encadrement de haute qualité des étudiants de deuxième et troisième cycle, et du Cégep.

### **Partenaire du projet**

- Agnico Eagle Mines Limited

**Résultats :** Rapport final prévu en décembre 2019

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

## **6.6 Caractérisation des gîtes de terres rares d'intrusions alcalines : géologie, métallogénie et géométtallurgie du complexe syénitique de Kipawa**

**Chercheur responsable :** Marc Constantin, Université Laval

### **Résumé**

Les terres rares (TR) sont indispensables à la fabrication des technologies vertes notamment les voitures hybrides et électriques, les éoliennes, et les produits électroniques communs. Les TR sont relativement abondantes dans la croûte terrestre, mais les niveaux de concentrations qui peuvent être exploités sont moins fréquents que pour la plupart des autres minerais. Un facteur crucial qui conduira à la mise en production de nouveaux gîtes de TR est lié à la compréhension poussée de la géologie et en particulier de la minéralogie.

Plusieurs types de processus géologiques (ignés, hydrothermaux, métamorphiques) peuvent conduire à la concentration localement élevée de TR dans les gîtes hyperalcalins. Le premier objectif de notre projet de recherche est d'identifier et modéliser les processus métallogéniques qui gouvernent l'enrichissement local des TR dans les magmas hyperalcalins. Le second objectif est de comparer et évaluer les caractéristiques géologiques, minéralogiques et géochronologiques du gîte de Kipawa avec d'autres gîtes de type similaire ailleurs dans le monde.

Nous allons quantifier les concentrations des TR dans les phases minérales de Kipawa afin de confirmer ou infirmer les valeurs élevées de TR lourdes par rapport à d'autres gîtes de syénite hyperalcaline de par le monde. La distribution des TR par minéral permettra d'éclairer et d'adapter le traitement du minerai (minéralurgie). La somme des études minéralogiques détaillées facilitera la gestion environnementale des rejets miniers.

Le projet de recherche permettra d'améliorer la compréhension des événements tectoniques régionaux et leur signification temporelle et spatiale pour la localisation des gîtes de TR associés aux syénites hyperalcalines.

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

Le projet sera réalisé par sept chercheurs et quatre étudiants de l'Université Laval et impliquera deux partenaires du secteur minier soit Matamec Explorations Inc. et l'entreprise en recherche et développement COREM.

### **Partenaires du projet**

- COREM
- Matamec Explorations

**Résultats :** Rapport final prévu en décembre 2019

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

## **6.7 Développement de réacteur électromembranaire pour la production d'hydroxyde de lithium**

**Chercheur responsable :** Mickael Dollé, Université de Montréal

### **Résumé**

Ce projet est un projet stratégique pour l'industrie minière, réalisé en partenariat entre l'Université de Montréal (UdeM), le Conseil National de Recherches du Canada (CNRC) et le Centre National en Electrochimie et Technologie Environnementale (CNETE). Les objectifs principaux du projet sont d'intensifier la production et de réduire la consommation énergétique d'un procédé électromembranaire pour la production d'hydroxyde de lithium, par le développement d'une nouvelle technologie d'électrolyse qui permet à la fois la réduction des coûts énergétiques et l'augmentation de la productivité.

Les résultats anticipés des différentes phases d'essais expérimentaux couplés à la caractérisation sont d'établir des relations entre l'élaboration des anodes, leur structure et les propriétés des nouveaux matériaux développés, de manière à cerner les propriétés qui favorisent les meilleures performances. À la suite de ce projet, l'entreprise partenaire pourra, avec l'aide de sa firme spécialisée en conception de réacteur électromembranaire et avec le concours des partenaires du projet, passer à une échelle pilote.

Nemaska Lithium, entreprise partenaire du projet, est un nouveau producteur dans la synthèse d'hydroxyde de lithium, un composé nécessaire à la synthèse de composantes critiques des batteries Li-ion. Elle développe le gisement de spodumène Whabouchi situé au Québec, le 2ème plus riche et plus grand gisement dans le monde, pour lequel un certificat d'autorisation général a été obtenu par l'entreprise. L'entreprise prévoit créer 300 emplois directs dont 120 à Shawinigan. Le lithium sera extrait du spodumène et transformé localement en hydroxyde de lithium de qualité batterie à l'aide d'un nouveau procédé électromembranaire, développé par Nemaska Lithium et ses nombreux partenaires, dont le Centre National en Electrochimie et Technologies Environnementales à Shawinigan. Ce procédé électromembranaire est novateur à bien des égards pour la chaîne de valeur des batteries Li-ion et l'environnement. Enviro-accès a évalué la réduction des émissions de GES associés à ce nouveau procédé à plus de 190 000 tonnes par an.

D'un point de vue scientifique, la compréhension des relations entre l'élaboration, la structure et les propriétés des nouveaux matériaux appliqués aux anodes dépolarisées à l'hydrogène, en particulier les surtensions, la dégradation des catalyseurs et la gestion de l'eau et de l'hydrogène sont des enjeux qui dépassent largement le cadre du projet, touchant notamment les piles à combustible. Ce projet formera des PHQ dans un secteur technologique porteur et polyvalent, qui trouve des applications dans l'énergie, mais aussi la synthèse de composés existants ou nouveaux issus de l'industrie minière. En réduisant les coûts de production du lithium de qualité batterie par synthèse directe, Nemaska apportera des économies à la chaîne de valeur, un enjeu déterminant pour le déploiement des batteries Li-ion de haute qualité.

### **Partenaire du projet**

- Nemaska Lithium inc.

**Résultats :** Rapport final prévu au début de l'année 2020

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

## **6.8 Contribution à la conception des galeries minières dans le contexte des mines profondes, sous hautes contraintes et soumises à la sismicité**

**Chercheur responsable :** Martin Grenon, Université Laval

### **Résumé**

Les gisements miniers en surface ou à faibles profondeurs sont de plus en plus rares au Québec. Un des principaux défis auxquels font face les ingénieurs miniers est l'exploitation en grande profondeur sous hautes contraintes et en milieu sismiquement actif. Ces conditions sont à la limite des pratiques actuelles de la conception géomécanique.

Le premier objectif spécifique de ce projet de recherche est de développer des outils qui permettront aux opérations minières québécoises à grande profondeur et/ou sous hautes contraintes de créer efficacement et facilement des modèles géomécaniques et d'observations géotechniques de terrain. Le second objectif spécifique est de développer des approches et des outils permettant l'intégration, sur une seule et même plateforme, de ces nouveaux modèles et (1) des modèles géologique et structural ainsi que (2) des résultats d'analyses de la sismicité, de tirs à l'explosif, de modélisations numériques et d'instabilités structurales, ces données et analyses étant habituellement réalisées et stockées en silo sur les sites miniers, afin de créer un modèle géotechnique global. Le troisième objectif spécifique est de développer des outils d'analyse, sur la base de ce modèle géotechnique global, permettant de déterminer les facteurs clés contrôlant le comportement du massif rocheux et l'efficacité du renforcement dans les différentes zones d'une opération minière profonde et/ou sous hautes contraintes active sismiquement. Le quatrième objectif est de développer des outils probabilistes d'analyse afin de mieux concevoir les ouvrages miniers et leur renforcement dans ces mêmes conditions. Le projet sera réalisé et validé à l'aide d'un cas d'étude québécois pour garantir son applicabilité et sa pertinence dans un milieu minier en production.

Ces outils seront disponibles pour l'ensemble des opérations minières québécoises. Les outils seront intégrés à la plate-forme mXrap, utilisée par l'ensemble des mines actives sismiquement au Québec. Ce projet de recherche contribue de manière extrêmement significative à l'avancement des connaissances et des pratiques actuelles, notamment par le développement d'outils permettant la création d'un modèle géotechnique global, par le développement d'outils d'analyse intégrés et par la réalisation d'analyses probabilistes de la stabilité qui intègrent la variabilité inhérente et l'incertitude associées aux données géotechniques. Les retombées escomptées sont l'amélioration de la sécurité des travailleurs et de la rentabilité des opérations ainsi que la minimisation du risque de fermeture prématurée des opérations. L'exploitation de gisements sous hautes contraintes en milieu sismique étant en forte croissance au Québec, ce projet innovant aidera l'industrie québécoise à développer et à maintenir son leadership sur les scènes nationale et internationale.

Ce projet sera fait en collaboration avec la compagnie minière Agnico Eagle division LaRonde et le Australian Center for Geomechanics.

### **Partenaires du projet**

- Agnico-Eagle Mines limited
- Australian Center for Geomechanics

**Résultats :** Rapport final prévu en décembre 2019

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

## **6.9 Isolement, identification et sélection des symbiotes végétaux racinaires en vue d'améliorer la réhabilitation des habitats de la toundra arctique et alpine du Québec affectés par l'exploitation minière**

**Chercheur responsable :** Damase Khasa, Université Laval

### **Résumé**

L'acquisition de nouvelles connaissances sur la capacité sustentatrice des écosystèmes nordiques (capacité à absorber et éliminer les contaminants et à se régénérer) est un impératif majeur pour favoriser le développement durable du territoire du Nord québécois. L'environnement du Nord, exceptionnellement riche en énergie et en ressources naturelles, est cependant très sensible et fragile. Son développement peut modifier radicalement les écosystèmes et les paysages étant donné l'impact des rigueurs du climat et des changements climatiques sur la biodiversité. Par conséquent, nous devons développer la région nordique de manière durable et responsable, en suivant des principes directeurs pour le développement social et la conservation de l'environnement. La durabilité du secteur minier québécois en milieu nordique doit donc viser la restauration des biens et services écosystémiques après l'exploitation minière. Au cours de 15 dernières années de recherche menée dans notre laboratoire en réhabilitation des sites miniers, nous avons démontré que les substrats, après exploitation minière, sont généralement dépourvus de micro-organismes symbiotiques bénéfiques au rétablissement des communautés végétales sur ces derniers. Nous avons alors développé un itinéraire technique de restauration phytobienne adaptée pour les sites miniers. Ce dernier n'a pas encore été appliqué en toundra forestière, arctique et alpine du Québec. En vue de reconstruire efficacement les écosystèmes de la toundra arctique-alpine visés par le développement minier du plan Nord, nous devons rapidement développer des nouvelles connaissances sur l'écologie intégrative de symbioses racinaires des espèces clés indigènes et importantes sur le plan culturel pour les communautés autochtones riveraines des sites miniers. Ce projet vise à combler ce manque de connaissances scientifiques indispensables pour la réhabilitation écologique des sites miniers en milieu nordique. Les objectifs poursuivis pour ce projet sont de: 1) décrypter le métagénome racinaire et rhizosphérique des espèces clés des sites miniers en milieu nordique; 2) isoler et identifier morphologiquement et moléculairement les champignons ectomycorhiziens et éricoïdes et les endophytes associés aux espèces clés de la toundra arctique-alpine (*Picea mariana*, *Betula glandulosa* et *Vaccinium uliginosum*) par réaction en chaîne de la polymérisation (PCR) suivie du séquençage de l'ADN; 3) Sélectionner in vitro et in vivo les meilleurs isolats des champignons pour leur résistance aux stress générés par les rejets de l'industrie minière à l'aide des paramètres morphométriques, physiologiques et biochimiques; 4) communiquer les résultats scientifiques de la recherche à toutes les parties prenantes incluant le Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, les compagnies minières et environnementales, la communauté scientifique, les communautés locales ainsi que le public en général. Pour aborder cette problématique de recherche complexe, nous avons mis en place une équipe multidisciplinaire de trois chercheurs de Laval et McGill ayant une expertise pointue en métagénomique et en écologie intégrative des plantes et de leurs microsymbiotes. Le projet permettra aussi la relève scientifique et la formation de trois personnels hautement qualifiés en génomique et en phytotechnologies de la restauration des sites miniers.

### **Partenaires du projet**

- Viridis Terra Innovations Inc.
- T<sup>2</sup> environnement Inc.
- Tata Steel Minerals Canada Limited

**Résultats :** Rapport final prévu au début de l'année 2020

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 299 940 \$

## **6.10 Gestion intégrée des rejets miniers pour les mines à ciel ouvert : Évaluation d'une approche de disposition des résidus et stériles réactifs dans les fosses**

**Chercheur responsable :** Li Li, École Polytechnique

### **Résumé**

La gestion sécuritaire des importants volumes de rejets générés par les opérations minières continue de représenter un défi pour l'ensemble de l'industrie et de la société. L'entreposage de ces rejets dans les fosses à ciel ouvert constitue une solution prometteuse. L'utilisation d'inclusions de roches stériles (IRS), basées sur un concept qui commence à être utilisé dans les parcs à résidus miniers, pourrait permettre un meilleur contrôle de la déposition des rejets. Le développement de la méthode requiert néanmoins un approfondissement des connaissances, notamment en ce qui a trait à la consolidation et au drainage des résidus déposés en fosse et aux interactions entre résidus et stériles. La prévention de la génération de contaminants et de leur migration, de même que les contraintes opérationnelles, doivent également être prises en compte.

L'objectif de ce projet de recherche est d'étudier certains des aspects de la méthode afin de proposer des solutions pratiques qui puissent rapidement être mises en œuvre sur les sites. Plus concrètement, on se propose d'optimiser la déposition des rejets en fosse avec l'installation d'IRS afin de répondre aux critères de performances géotechniques et environnementales les plus exigeants.

Pour atteindre l'objectif principal du projet, des essais au laboratoire et des modélisations numériques seront réalisés. Outre la caractérisation avancée des propriétés hydrogéotechniques et géochimiques des résidus et des stériles, des protocoles récemment développés au sein de l'École Polytechnique et de l'IRME (Institut de Recherche sur les Mines et l'Environnement) seront employés. Des modèles physiques originaux seront également utilisés afin d'étudier les aspects particuliers de la déposition en fosse. Enfin, des simulations numériques complexes seront réalisées prenant en compte les nombreux paramètres d'influence de la méthode. Les contraintes opérationnelles (volumes de rejets produits, organisation de la déposition, drainage de l'eau, etc.) seront intégrées dans l'analyse afin de réaliser l'évaluation de solutions réalistes et d'optimiser la conception et la mise en place des résidus et des IRS dans les fosses en fonction des propriétés des matériaux, des conditions de terrain et des objectifs de stabilité (physique et chimique) et de sécurité.

Les travaux de recherche proposés ici sont originaux et peu documentés dans la littérature. Ils permettront d'améliorer la gestion et la restauration des sites miniers tout en favorisant l'acceptabilité sociale de ce type d'exploitation.

Le projet sera réalisé à l'École Polytechnique de Montréal, en collaboration avec l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue et trois compagnies minières (Iamgold, Canadian Malartic et Agnico Eagle Mines) partenaires de l'Institut de Recherche en Mines et Environnement (IRME). Quatre étudiants gradués seront formés dans le cadre de la réalisation du projet. En plus de favoriser le transfert direct des connaissances vers les entreprises participantes, ces gradués assureront la relève scientifique pour l'industrie minière.

### **Partenaires du projet**

- Agnico Eagle Mines Limited
- IAMGOLD
- Partenariat Canadian Malartic

**Résultats :** Rapport final prévu au début de l'année 2020

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 180 000 \$

## **6.11 Étude du potentiel de séquestration du CO<sub>2</sub> industriel par les résidus de flottation de mine Arnaud**

**Chercheur responsable** : Guy Mercier, Institut National de la Recherche Scientifique

### **Résumé**

Le présent projet de recherche vise à élaborer une technologie environnementale utilisant les résidus de flottation de Mine Arnaud, pour la capture et la séquestration de CO<sub>2</sub> émis par les industries. Le premier objectif est donc de réduire les impacts d'un projet minier sur le sol et l'écosystème nordique en réduisant le volume de résidus devant être stockés. Le second est l'établissement d'une synergie avec des industries ayant une problématique de rejets de CO<sub>2</sub> et de SO<sub>2</sub>, qui ont également un effet sur la qualité de l'air du milieu nordique et qui contribuent au changement climatique. L'étude proposée vise donc à évaluer la réactivité des résidus de flottation pour le traitement des fumées industrielles. Celle-ci sera par la suite optimisée expérimentalement. Le procédé sera modélisé afin de comprendre et d'évaluer les aspects technico-économiques entourant l'application industrielle. Cette recherche permettra d'accroître les connaissances scientifiques entourant l'utilisation de résidus miniers pour le traitement des gaz industriels, tout en apportant de nouvelles avenues de valorisation. Ces travaux permettront de favoriser une exploitation minière intégrant des valeurs de développement durable, respectant l'environnement nordique et minimisant les impacts sur ce dernier. Le tout contribuera à une accroître l'acceptabilité sociale du projet minier de Mine Arnaud et à une meilleure perception de l'activité industrielle. Cette dernière bénéficiera également de ces résultats, qui contribueront à renforcer et maintenir le secteur à la fine pointe en terme de pratiques environnementales .

Cette recherche sera réalisée en partenariat avec Mine Arnaud et une équipe de chercheurs multidisciplinaire et internationale, dont l'expertise dans les domaines visés est reconnue. Un total de trois étudiants (2 doctorat et 1 maîtrise) contribueront à ce travail afin d'aborder les différents aspects entourant cette étude.

### **Partenaire du projet**

- Mine Arnaud

**Résultats** : Rapport final prévu en août 2019

**Durée du projet** : 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet** : 300 000 \$

## **6.12 Développement et optimisation de la technologie LiDAR mobile pour la modélisation 3D précise et la surveillance de la convergence des tunnels miniers**

**Chercheur responsable :** Mir Abolfazl Mostafavi, Université Laval

### **Résumé**

La mesure et la surveillance de la convergence des tunnels miniers permettent d'intervenir dans des zones à risque d'affaissement, d'augmenter la sécurité du personnel et de maintenir la continuité des opérations de production minière. Les méthodes actuellement utilisées pour la surveillance de la convergence reposent sur des processus manuels (à l'aide de distancemètres, télémètres laser, CMS, etc.) qui fournissent des données ponctuelles, qui sont coûteux en temps, inefficaces et inadéquats pour la surveillance des grandes mines souterraines. Pour pallier à ces problèmes, la technologie LiDAR mobile offre un grand potentiel. Celle-ci permet d'acquérir rapidement, à partir d'une plateforme mobile, des données géospatiales 3D avec une précision et un niveau de détail très élevés. Quoique très prometteuse, la technologie LiDAR mobile présente actuellement plusieurs problématiques qui empêchent son utilisation à des fins de surveillance de la convergence des tunnels miniers. L'objectif global du présent projet, «MinEyes» est d'améliorer les systèmes LiDAR mobiles (SLM) afin de permettre l'observation et la modélisation 3D précises et rapides des tunnels miniers et ainsi faciliter et améliorer les processus de surveillance de ces ouvrages. Les travaux qui seront réalisés dans le cadre du projet « MinEyes » permettront notamment d'améliorer la précision des mesures et du positionnement souterrain des SLM et de développer de nouvelles méthodes et algorithmes pour traiter et modéliser efficacement les données 3D acquises par ces systèmes (i.e. nuages de points). On y étudiera également l'impact de l'intégration de la technologie LiDAR mobile dans les processus de surveillance de la convergence des tunnels et plus globalement, sur les processus de production minière. Les innovations technologiques qui en découleront enrichiront le savoir-faire québécois dans le domaine minier et contribueront à une plus grande compétitivité des entreprises minières québécoises. Outre le domaine minier, les travaux de recherche viendront également enrichir le domaine de la géomatique, pour lequel le Québec se positionne comme un leader mondial. L'amélioration des systèmes de positionnement intérieurs (souterrains), de cartographie mobile, de calibrage de haute précision, de traitement automatisé des nuages de points auront également des retombées dans différents domaines d'application de la géomatique et prioritaires pour le Québec (transports, auscultation d'infrastructures, etc.). Le projet « MinEyes » est un projet multidisciplinaire qui intègre des chercheurs possédant des expertises de pointe dans les domaines de la géomatique et du génie minier. Les travaux proposés dans le cadre de ce projet seront réalisés en étroite collaboration entre les chercheurs provenant de l'Université Laval et de l'Université de Toronto en partenariat avec l'entreprise Peck Tech, un leader reconnu dans l'industrie minière, et le CCTT de Centre de géomatique du Québec (CGQ).

### **Partenaires du projet**

- Centre de géomatique du Québec (CGQ)
- Peck Tech Consulting Ltd

**Résultats :** Rapport final prévu au début de l'année 2020

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

### **6.13 Potentiel des ressources et technologies géothermiques pour l'approvisionnement énergétique des mines du nord**

**Chercheur responsable** : Jasmin Raymond, Institut National de la Recherche Scientifique

#### **Résumé**

Le nord du Québec assure la production de plusieurs minéraux à travers une industrie qui contribue à l'économie de toute la province. Les coûts énergétiques en milieu nordique sont cependant élevés. Le transport et l'utilisation de combustibles fossiles dans ces milieux éloignés ont également un impact environnemental considérable. Parmi les alternatives disponibles, la géothermie est l'une des seules filières énergétiques exploitables de façon continue qui permettrait de chauffer ou climatiser les bâtiments et les galeries souterraines ou même de produire de l'électricité tout en contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. L'objectif de ce projet est d'évaluer le potentiel des ressources et technologies géothermiques afin de combler les besoins en chaleur et en électricité des minières. À court terme, ce sont les pompes à chaleur géothermique couplées aux opérations de dénoyage des mines qui pourraient fournir de la chaleur alors que les ressources géothermiques issues de forages profonds pourraient à moyen terme produire de la chaleur utilisée directement ou convertie en électricité. Les travaux seront orientés autour de deux axes de recherche, dont le premier concerne la géologie et vise la valorisation des ressources, tandis que le second fait appel au génie mécanique et a pour but d'améliorer les technologies. Un inventaire des ressources et technologies géothermiques disponibles pour les mines actives et les projets miniers du Plan Nord est attendu au terme de ce projet. Des travaux de simulation hydrogéologique et énergétique permettront d'évaluer la pérennité des ressources et d'anticiper les économies d'énergie pour des sites miniers sélectionnés. La réalisation de travaux approfondis pour les sites sélectionnés apportera les connaissances fondamentales afin d'adapter les technologies géothermiques au contexte minier nordique. Le but est de démontrer l'efficacité d'avenues novatrices pour réaliser des économies d'énergie avec les ressources géothermiques. Les travaux seront réalisés en partenariat avec des leaders des domaines énergétiques et miniers, soit Hydro-Québec, Hatch et Goldcorp-Éléonore. L'intérêt de ces entreprises est de susciter le développement de solutions énergétiques rentables pour leurs clients ou leurs propres opérations. Le projet aura des retombées au niveau de la diversification des apports énergétiques disponibles pour les mines du Nord, réduisant leur empreinte carbone et accélérant le développement de pratiques durables au sein de l'industrie minière. La formation d'une relève scientifique qui sera en mesure d'appliquer les solutions développées est aussi au cœur de ce projet.

#### **Partenaires du projet**

- Goldcorp Éléonore
- Hatch & Associés inc.
- Institut de recherche d'Hydro-Québec

**Résultats** : Rapport final prévu en septembre 2019

**Durée du projet** : 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet** : 300 000 \$

## 6.14 Communauté minière nordique net-zéro

**Chercheur responsable :** Daniel Rousse, École de Technologie Supérieure

### Résumé

**OBJECTIFS :** Ce projet vise à : 1) concevoir et implanter une solution adaptative à la gestion intelligente de l'énergie hors-réseau et intégrant des solutions innovantes pour la production (énergie éolienne, énergie solaire, petit hydro), la récupération (échangeurs, récupérateurs, régénérateurs) et le stockage d'énergie (chimique, thermique, électrique, CAES) mise au point par les partenaires scientifiques et à développer les algorithmes de contrôles requis; et 2) concevoir les unités d'habitation novatrices destinées à être alimentées par ce système énergétique. Au terme du projet, les technologies développées et intégrées seront uniques au monde et pourront être appliquées sur tous les continents en milieux isolés. Plus spécifiquement, le projet de recherche vise à: 1) limiter ou annuler l'utilisation du groupe électrogène diesel; 2) rationaliser au maximum les charges d'énergie par une conception appropriée; 3) assurer la disponibilité d'électricité et de chauffage en tout temps, 4) assurer un coût de revient du kWh minimal, 5) assurer un produit robuste demandant un minimum d'entretien, 6) proposer un système pouvant fonctionner en milieu nordique, 7) faciliter l'installation.

**RÉSULTATS ATTENDUS :** (1) le développement d'une expertise forte dans l'ingénierie des systèmes énergétiques hybrides en milieu nordique, (2) une connaissance nouvelle des applications de récupération, production, conversion et distribution d'énergie décentralisée, (3) le développement d'une technologie de contrôle prédictif de consommation/production/récupération/stockage, (4) une collaboration nationale et internationale nouvelle entre équipes complémentaires, (5) une approche intégrée de la gestion énergétique dans des stations/camps/villages isolés.

**RETOMBÉES ESCOMPTÉES :** (1) une réduction des émissions de GES pouvant atteindre 100% s'il s'avère que pour un site la production s'effectue sans groupe diesel pour l'alimentation électrique de villages ou camp miniers, (2) la formation de personnel hautement qualifié, (3) du contenu pour la création de formations spécifiques, (4) des devis techniques pour implanter les diverses applications étudiées, (5) une entreprise, TUGLIQ, qui aura à sa disposition une technologie qu'elle pourra implanter ailleurs en sites isolés. La réussite de ce projet permettra de consolider la diversification des PME et de leurs créneaux d'interventions dans la région du Nord du Québec.

**ORGANISMES PARTENAIRES :** Les organismes partenaires de ce projet sont : (1) Institut Technologique de Maintenance industrielle (ITMI) et sa chaire de recherche en exploitation et maintenance ferroviaire (D. Ramdenee); (2) le groupe t3e de l'ÉTS qui coordonne l'ensemble, effectue les bilans énergétiques globaux (D. Rousse, D. Haillot), propose des matériaux de stockage (Zednik) et assure la modélisation de la conversion énergétique (A. Chandra); (3) le LREE (A. Ilinca) de l'UQAR qui apporte son expertise en production d'énergie éolienne; (4) le Techno Centre Éolien (H. Ibrahim) qui possède l'expertise des systèmes hybrides éolien-diesel-air comprimé; (5) l'UQTR (K. Agbossou) pour le contrôle; et (6) l'entreprise TUGLIQ Énergie S.A.R.L. qui exploitera la technologie pour le compte de ses partenaires d'affaires.

### Partenaire du projet

- Tuglic Énergie S.A.R.F.

**Résultats :** Rapport final prévu au début de l'année 2020

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

**6.15 Développement d'une approche durable de restauration progressive d'extrants miniers mixtes (stériles et résidus) des nouvelles mines du Nord Québécois; les espèces végétales indigènes à la rencontre des besoins des communautés cries.**

**Chercheur responsable :** Sébastien Roy, Université de Sherbrooke

**Résumé**

Ce projet de recherche vise à développer des techniques de gestion des résidus miniers qui proviendront du projet Whabouchi de Nemaska Lithium, au Nord de Chibougamau. Les approches employées souscriront aux principes du développement durable et exploiteront les capacités naturelles du patrimoine végétal et microbien déjà présent dans cette région. Nous étudierons, pour mieux sélectionner, les espèces végétales indigènes de cette région pour les implanter sur les empilements de résidus mixtes (fins et grossiers) qui seront modelés par l'entreprise en fonction du paysage avoisinant. La séquence d'introduction des espèces, la densité des plantations et les associations microbiennes symbiotiques seront exploitées pour parvenir au redémarrage d'un écosystème autonome sur ces résidus.

Notre équipe de recherche composée d'écologistes, microbiologistes et biogéochimistes mettront à profit leur expertise en succession végétale, en biologie de la fixation d'azote et du CO<sub>2</sub> atmosphérique et en interactions plantes-métaux pour former les spécialistes capables de transposer les techniques que nous développeront à d'autres sites miniers du Nord Québécois (sites actifs, fermés, orphelins).

Le projet répond à un problème pressant, celui de réhabiliter les sites miniers perturbés de manière écologiquement responsable, tout en étant économiquement faisable. Nous miserons entre autre sur des arbustes indigènes (les aulnes) capables de tirer de l'air l'azote qui est essentielle à leur survie. Ces aulnes fourniront au site un apport saisonnier en azote, permettant le développement d'autres espèces végétales. Le choix des espèces végétales à introduire sera fait en analysant les caractéristiques fonctionnelles (les traits fonctionnels) qu'ils arborent à proximité du site minier, dans la forêt naturelle et les affleurements rocheux. Ces traits nous permettront de prédire leur capacité à tolérer les conditions (sécheresse, etc) qui pourraient prévaloir sur le dépôt de résidus miniers. Des assemblages de plantes avec « les bons » traits fonctionnels seront alors créés et évalués pour leur performance en survie et croissance. Tous ces choix seront faits pour préserver et ne pas nuire à l'utilisation actuelle du territoire pour la chasse et la trappe des Premières Nations sur ce territoire.

Nous produirons une stratégie de plantation intégrée qui sera implantée de manière continue par Nemaska Lithium. La réhabilitation du site sera donc fait tout au cours de la vie de la mine, ce qui atténuera les impacts sur l'environnement et les populations locales; un modèle d'opération qui risque d'être adopté par d'autres entreprises. En effet, le passif environnemental et financier que constituent les résidus miniers non-réhabilités peuvent être gérés, avantageusement, à court terme pour accroître la compétitivité des entreprises face à la compétition internationale. Les techniques qui seront développées seront très peu coûteuses, ne nécessitant pas de préparation du site (amendements organiques). Ultiment, nous visons la revégétalisation efficace et à très faible coût des sites miniers actifs et orphelins au Québec.

**Partenaires du projet**

- ArborInnov Inc.
- Nemaska Lithium inc.
- Regeneration

**Résultats :** Rapport final prévu en novembre 2019

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 299 969 \$

## **6.16 Développement d'outils d'évaluation et d'atténuation des impacts potentiels de la récolte de tourbe sur la qualité de l'eau des cours d'eau récepteurs**

**Chercheur responsable :** André St-Hilaire, Institut National de la Recherche Scientifique

### **Résumé**

La récolte de la tourbe à des fins horticoles nécessite que la couverture végétale vivante soit retirée de la surface de récolte. Le drainage des sols ainsi mis à nu peut générer un apport accru de sédiments et une augmentation de la charge en nutriments et en matière organique. Des bassins de sédimentation, présentant des configurations très différentes d'un site à l'autre, sont fréquemment installés afin d'atténuer l'exportation de matières en suspension (MES) vers les cours d'eau récepteurs. Peu de travaux ont mesuré l'impact de l'exploitation de la tourbe dans ces cours d'eau. L'objectif principal de la présente proposition consiste à doter l'industrie d'outils permettant d'évaluer et de réduire l'impact potentiel de la récolte sur la qualité de l'eau de drainage et sur les écosystèmes lotiques récepteurs. Pour ce faire, il faudra développer un outil de conception des bassins de sédimentation en incluant une approche permettant de munir les bassins de rétention de structures de contrôle de débit. De plus, la variabilité naturelle de la qualité de l'eau des milieux récepteurs dans trois régions du Québec sera évaluée afin de pouvoir évaluer quantitativement une possible impact de la récolte de tourbe. Finalement, des indicateurs abiotiques et biotiques de l'impact possible du rejet des eaux de drainage dans les cours d'eau récepteur seront testés et validés.

Ce projet permettra : 1) de faire une première analyse détaillée des impacts potentiels du rejet des eaux de drainage sur les milieux lotiques récepteurs au Québec; 2) d'identifier une signature spectrale spécifique à la matière organique qui provient de l'exploitation de la tourbe afin de pouvoir suivre l'efficacité des mesures d'atténuation mises en place; 3) de développer et procéder au transfert à l'industrie d'un outil complet de conception des bassins de sédimentation, incluant les structures de contrôle; 4) une première validation de l'efficacité d'indicateurs biotiques et abiotiques de la santé du milieu récepteur; 5) de former des étudiants, associées de recherche et stagiaires de premier cycle universitaire; et 6) de transférer des connaissances aux partenaires industriels. Les retombées directes pour l'industrie de la tourbe seront nombreuses car les entreprises pourront acquérir non seulement de nouvelles connaissances mais aussi de nouvelles compétences afin d'intégrer de meilleures pratiques de gestion sur leurs sites de récolte. L'implication de l'APTHQ, regroupement qui représente la quasi totalité des entreprises du secteur de la production de tourbe au Québec, permettra que ses membres adoptent les recommandations issues de cet important effort de recherche. L'association accompagne déjà les industriels dans leurs démarches en gestion responsable des tourbières et les plans de gestion de la qualité de l'eau font partie des priorités du plan d'action quinquennal 2013-2018 du créneau Accord Tourbe & Agroenvironnement (hébergé et coordonné par l'APTHQ) adopté par l'ensemble des parties prenantes de cette filière. Les résultats du présent projet contribueront donc directement à l'amélioration des pratiques industrielles liées à la production de tourbe.

### **Partenaires du projet**

- Association des producteurs de tourbe horticole du Québec (APTHQ)

**Résultats :** Rapport final prévu en août 2019

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 276 975 \$



**7. Résumés des projets financés lors du concours pour le volet *Valorisation des résidus miniers***

## 7.1 Valorisation du résidu minier UGSO en une nouvelle famille de catalyseurs

**Chercheur responsable :** Nicolas Abatzoglou, Université de Sherbrooke

### Résumé

Objectifs: À partir des premiers résultats très positifs de travaux antérieurs en laboratoire, issus de l'étroite collaboration et de la synergie entre l'équipe multidisciplinaire de RTFT et l'équipe universitaire de Sherbrooke et Laval, l'objectif du projet est de développer et de démontrer à échelle kg-lab/pilote, l'utilisation des UGSO pour la synthèse de nouveaux catalyseurs de reformage du gaz naturel.

D'autre part, la pertinence novatrice du projet de valorisation du résidu minier UGSO en catalyseurs M-UGSO à l'échelle industrielle tisse davantage l'étroite collaboration entre RTFT et les équipes des Universités de Sherbrooke et Laval en conjuguant leurs efforts afin d'atteindre leurs objectifs, entre autres :

- 1- Le renforcement de la preuve de concept laboratoire.
- 2- La mise à l'échelle pilote / kg-lab et la validation du procédé de synthèse.
- 3- La capacité à mettre en place une chaîne de valeur jusqu'à la commercialisation, via des partenariats subséquents, d'une part avec des firmes spécialisées (BASF, et autres) dans la commercialisation de catalyseurs industriels et d'autre part, avec les premiers clients pour les démonstrations industrielles à pleine échelle.

De même, la compréhension des premiers résultats intéressants obtenus, tant pour la préparation du catalyseur que pour son efficacité au reformage constituera l'objectif scientifique principal. Des modèles spécifiques et des mécanismes mis en jeu seront développés.

### Résultats attendus

1. Protocoles de reformage optimisés; conditions expérimentales et conversions/rendements.
2. Protocoles d'analyse optimisés.
3. Cycle de vie des catalyseurs.
4. Critères de mise à l'échelle.
5. Diagramme d'écoulement du procédé de production des catalyseurs et de production d'hydrogène
6. Analyse économique et de sensibilité.
7. Calcul de CAPEX et OPEX d'une unité industrielle.

Retombées escomptées: Différents champs d'applications sont visés pour ces nouveaux catalyseurs : production d'hydrogène et de gaz de synthèse, reformage du gaz naturel et autres hydrocarbures, anodes des piles à combustibles, raffinage du pétrole, hydrotraitement, hydrocraquage, isomérisation. La première application du Ni-UGSO au reformage à sec ou à la vapeur du gaz naturel a produit des résultats prometteurs (dépôt d'une demande de brevet provisoire américaine le 17/07/2015 (US 62/193,650)). De telles performances sont au moins égales mais possiblement supérieures à celles des meilleurs catalyseurs existant actuellement sur le marché, tout en ayant des bas coûts de production. En plus, les résultats obtenus montrent que l'utilisation de ce catalyseur diminue les dépenses énergétiques du procédé endothermique de reformage.

### Partenaire du projet

- Rio Tinto Fer et Titane

**Résultats :** Rapport final prévu au début de l'année 2020

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 299 693 \$

## **7.2 Production de concentrés de phosphates et de magnétite à partir des résidus miniers du concentrateur de la mine Niobec**

**Chercheur responsable** : Claude Bazin, Université Laval

### **Résumé**

La mine Niobec est située à 20km au nord de la ville de Chicoutimi. La mine extrait un minerai qui est traité dans un concentrateur pour retirer des minéraux porteurs de niobium un élément qui entre dans la fabrication d'aciers spéciaux. Le traitement de cent tonnes de minerai produit plus de quatre-vingt-dix-neuf tonnes de rejets qui sont envoyés dans un parc à résidus.

Les rejets de l'usine contiennent entre 6 et 9% d'apatite un minéral exploité pour son contenu en phosphate (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) et utilisé dans l'industrie de la fabrication des engrais chimiques. L'objectif du projet est de mettre au point un procédé pour valoriser l'apatite des rejets de l'usine afin de produire un concentré d'apatite pouvant être vendu aux usines de production d'engrais. La récupération de l'apatite des rejets va laisser un résidu riche en minéraux de carbonates qui pourraient servir comme agents neutralisants dans les champs ou pour les résidus générateurs d'acide des parcs à résidus des mines de minéraux sulfurés. La récupération de l'apatite permettrait de réduire le volume de résidus envoyés dans le parc de Niobec, de réduire les risques d'une contamination des eaux du parc à résidus par le phosphate et de générer un revenu supplémentaire pour la mine qui pourrait payer pour les coûts reliés à la production du concentré d'apatite. Le principal avantage à traiter les rejets du concentrateur réside dans le fait que ces rejets sont déjà broyés et prêts à être soumis à des étapes de valorisation.

La méthode de valorisation qui est considérée dans le cadre du projet est la flottation. La flottation est bien adaptée aux minéraux fins. Toutefois, les minéraux présents dans les rejets compliquent la séparation sélective de l'apatite des autres minéraux. En effet, l'apatite est dans une gangue de calcite qui se comporte comme l'apatite. Il faut par conséquent trouver des combinaisons de réactifs, collecteurs et déprimants, qui permettent la récupération sélective de l'apatite. Une fois ces conditions trouvées, le projet va produire des données cinétiques permettant de modéliser le procédé de flottation de l'apatite afin de concevoir un circuit de flottation par simulation. La simulation va permettre d'évaluer le potentiel économique de l'opération d'un circuit de valorisation des résidus en fonction des coûts d'opération et en capital.

### **Partenaire du projet**

- Mine Niobec

**Résultats** : Rapport final prévu au début de l'année 2020

**Durée du projet** : 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet** : 75 000 \$

### **7.3 Optimisation de la production de rejets désulfurés en vue de leur valorisation dans la restauration de sites miniers**

**Chercheur responsable :** Isabelle Demers, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

#### **Résumé**

L'exploitation minière génère plusieurs types de résidus solides dont les rejets de concentrateur qui contiennent souvent des sulfures pouvant entraîner la génération d'effluents contaminés par le drainage minier acide (DMA). La désulfuration environnementale, proposée comme approche de valorisation des rejets afin de réduire les impacts environnementaux des opérations minières, vise à retirer la majeure partie des sulfures présents dans ces rejets pour produire un rejet désulfuré (non générateur de DMA) et un concentré de sulfures. Les rejets désulfurés pourraient être valorisés comme matériau de recouvrement dans la restauration des parcs à rejets pour prévenir la formation de DMA. Des études récentes ont montré que si le niveau de désulfuration est suffisant, les rejets désulfurés sont chimiquement appropriés pour être utilisés comme matériau de recouvrement. Toutefois, pour qu'un matériau soit utilisé comme recouvrement, il doit être chimiquement approprié et posséder les propriétés hydrogéologiques adéquates. Il n'est donc pas suffisant de s'assurer de désulfurer suffisamment les rejets, il faut que le procédé de désulfuration produise un rejet qui corresponde aux critères hydrogéologiques d'un recouvrement (faible perméabilité, capacité de rétention d'eau élevée).

L'objectif principal du projet est de valoriser les rejets désulfurés comme matériau de recouvrement et de s'assurer de l'efficacité à long terme des recouvrements faits de rejets désulfurés. Les objectifs spécifiques sont: 1) Étudier la relation entre les paramètres hydrodynamiques de la flottation et les propriétés hydrogéologiques des rejets désulfurés; 2) Prédire le comportement hydrogéochimique à long terme des rejets désulfurés valorisés comme recouvrement; 3) Évaluer l'applicabilité de la désulfuration, avec ou sans récupération de valeurs économiques, dans la restauration d'anciens sites miniers.

Ce projet identifiera les facteurs à considérer dans la désulfuration afin de s'assurer de produire un rejet désulfuré qui aura les propriétés hydrogéologiques et géochimiques requises pour agir en tant que matériau de recouvrement à long terme. Un code numérique sera adapté pour simuler le comportement hydrogéochimique des matériaux désulfurés. Les entreprises minières seront mieux outillées pour produire un rejet désulfuré en vue de sa valorisation dans la restauration, autant pour des sites actifs que fermés.

Ce projet de recherche est une collaboration entre l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT), l'École Polytechnique de Montréal, l'Université Laval et Iamgold mine Westwood. Il permettra de former des étudiants aux trois cycles universitaires à l'UQAT, au cœur d'une région minière où les résultats de la recherche pourront être appliqués rapidement.

#### **Partenaire du projet**

- Iamgold Mine Westwood

**Résultats :** Rapport final prévu au début de l'année 2020

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 210 000 \$

#### **7.4 Valorisation des roches stériles sur les sites miniers : Élaboration de critères hydrogéotechniques et opérationnels pour maximiser l'utilisation des stériles dans les couvertures, les inclusions et les structures de routes**

**Chercheur responsable :** Li Li, École Polytechnique

##### **Résumé**

La multiplication des mines en roche dure à faibles teneurs et l'augmentation de la production de rejets solides incitent l'ensemble de l'industrie à considérer de nouveaux modèles de gestions des rejets. Les roches stériles, en particulier, représentent un défi en raison de leurs propriétés géotechniques et hydrogéologiques complexes liées à une granulométrie grossière et très étalée. Leur réactivité et les très importants volumes générés imposent des contraintes techniques et opérationnelles considérables afin d'assurer une gestion sécuritaire à long terme. La valorisation des roches stériles dans divers ouvrages et constructions sur les sites de production pourrait apporter des solutions concrètes et pratiques à ces problèmes. Les avantages à réutiliser les stériles sont nombreux, autant d'un point de vue environnemental qu'opérationnel ou économique, comme par exemple la réduction des volumes à déposer dans les haldes, ou la diminution des emprunts de sol au milieu naturel pour la construction des ouvrages.

L'objectif de ce projet de recherche est d'étudier en détail certaines formes de valorisation des stériles, dans les routes pour véhicules extra lourds, les recouvrements et les inclusions de roches stériles placées dans les parcs à résidus. On vise ainsi à définir des critères hydrogéotechniques afin de choisir et utiliser les stériles de manière adéquate pour qu'ils remplissent les objectifs de performance visés.

Pour atteindre l'objectif principal du projet, des essais sur le terrain et au laboratoire, ainsi que des modélisations numériques seront réalisés. Outre la caractérisation avancée des propriétés géotechniques, hydrogéologiques et mécaniques des stériles, on s'attardera à évaluer certaines des méthodes de caractérisation et à les adapter aux besoins spécifiques étudiés ici. Des modèles physiques originaux seront également utilisés afin d'étudier certains aspects particuliers de l'utilisation des stériles, notamment au niveau des écoulements. Enfin, des simulations numériques complexes seront réalisées prenant en compte les nombreux paramètres qui peuvent influencer les caractéristiques des stériles. Les contraintes opérationnelles seront intégrées dans l'analyse afin d'évaluer des solutions réalistes et d'optimiser la conception et la mise en place de ces ouvrages en fonction des propriétés des matériaux, des conditions de terrain (notamment le climat) et des objectifs de stabilité et de durabilité.

Les travaux de recherche proposés ici sont originaux et peu documentés dans la littérature. Ils permettront de mettre en œuvre le principe d'économie circulaire appliquée au domaine minier. Le projet sera réalisé à l'École Polytechnique de Montréal, en collaboration avec l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue et trois compagnies minières (Iamgold, Canadian Malartic et Agnico Eagle Mines) partenaires de l'Institut de Recherche en Mines et Environnement (IRME). Quatre étudiants gradués (2 PhD et 2 MScA) et quatre stagiaires seront formés dans le cadre de la réalisation du projet. En plus de favoriser le transfert des connaissances vers l'industrie, ces étudiants assureront la relève scientifique.

##### **Partenaires du projet**

- Agnico Eagle Mines Limited
- IAMGOLD
- Mine Canadian Malartic

**Résultats :** Rapport final prévu au début de l'année 2020

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 240 000 \$

## **7.5 Valorisation des boues pour le contrôle de la dispersion de poussières par l'érosion éolienne et la restauration des sites miniers**

**Chercheur responsable :** Mamert Mbonimpa, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

### **Résumé**

L'exploitation minière génère de grandes quantités de résidus miniers, qui comprennent les rejets de concentrateur, les roches stériles et les boues de traitement du drainage minier acide (DMA). Leur gestion et la restauration des aires d'accumulation de ces résidus sont des défis environnementaux communs à toute l'industrie minière. Une valorisation ciblée et optimale de ces résidus peut contribuer à en réduire les impacts environnementaux. Étant donné que les boues ont une capacité à maintenir un pH alcalin à neutre pendant des décennies, voire des siècles, il est alors pensable que les boues peuvent constituer un matériau à valoriser pour des applications spécifiques sur les sites miniers. Ce projet vise à développer des outils pour cette valorisation de boues pour le contrôle des poussières soulevées par l'érosion éolienne sur des aires d'entreposage de ces rejets de concentrateur mais aussi pour la restauration de ces aires. Il s'agit de répondre à des problèmes concrets auxquels l'industrie fait face.

Dans un premier temps, des investigations de laboratoire et de terrain seront réalisées pour déterminer dans quelle mesure les boues seules ou amendées peuvent constituer des matériaux cohérents non-érodables (MCNEs). Le potentiel d'érodabilité sera évalué à l'aide du système portable PI-SWERL (Portable In-Situ Wind EROsion Laboratory) qui permet de déterminer la quantité de particules fines remises en suspension en termes de PM10. Les tests au PI-SWERL seront réalisés sur des matériaux soumis à la dessiccation, à la cryodessiccation et à des cycles de gel-dégel. Ces MCNEs confirmés seraient alors utilisés pour le contrôle des poussières soulevées par l'érosion éolienne sur les aires d'entreposage de rejets de concentrateur. Ces MCNEs à base de boues constitueraient alors une alternative avantageuse par rapport aux abats-poussière chimiques auxquels l'industrie minière recourt actuellement, sans garantie d'efficacité.

Dans un deuxième temps, ce projet cherchera à optimiser et maximiser la quantité de boues dans les mélanges sols-boues (MSBs) dans le but de former des matériaux ayant les caractéristiques appropriées pour constituer des matériaux fins dans les recouvrements jouant le rôle de barrière à l'oxygène et/ou à l'eau. Il s'agit ici de poursuivre les travaux préliminaires qui ont montré que les MSBs optimisés peuvent avoir des propriétés requises pour constituer des matériaux fins de recouvrement. L'emphase sera mise ici sur l'étude de la stabilité chimique des MSBs face à l'eau de pluie acide et à l'évaluation de l'efficacité de recouvrements incluant des MSBs.

Ce projet sera réalisé à l'UQAT en collaboration avec l'université de Sherbrooke et la Mine Westwood, propriété de la Corporation IAMGOLD. Il permettra de former du personnel hautement qualifié (PHQ) et de développer de nouvelles connaissances qui seront transférées à l'industrie minière et à tous les autres utilisateurs des secteurs publics et privés œuvrant en environnement minier.

### **Partenaire du projet**

- Iamgold Mine Westwood

**Résultats :** Rapport final prévu au début de l'année 2020

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$

## **7.6 Valorisation des résidus de Bauxite pour l'épuration des gaz d'une aluminerie (CO<sub>2</sub> et SO<sub>2</sub>)**

**Chercheur responsable :** Guy Mercier, Institut National de la Recherche Scientifique

### **Résumé**

Le présent projet propose de répondre à la problématique liée à la gestion des résidus de bauxite générés lors de la production d'alumine. L'approche retenue vise à réutiliser ces résidus comme matière première pour le traitement des fumées d'une usine d'aluminium primaire. En effet, celle-ci doit répondre à une réglementation de plus en plus stricte au niveau de ses rejets atmosphériques. Ainsi, le résidu de bauxite, de par ses qualités basiques, pourrait être utilisé pour capter et stocker le SO<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> contenus dans les fumées.

Le principal objectif de cette étude s'articule autour du développement d'une technologie d'épuration des gaz, utilisant les résidus de bauxite. L'optimisation des paramètres opératoires, ainsi que la modélisation du procédé seront entre autres réalisées. De plus, un intérêt particulier sera porté à identifier et à définir des avenues de valorisation des résidus après traitement.

Les résultats attendus sont: i) de réduire le risque environnemental lié à la gestion des résidus en diminuant, entre autres, le pH de ces derniers; ii) le traitement de la totalité ou d'une partie conséquente (plus de 50%) des émissions de CO<sub>2</sub> et de SO<sub>2</sub> d'une aluminerie; et iii) de proposer une valorisation des résidus de bauxite après traitement pour réduire l'empreinte associée à la gestion de ces résidus.

Le projet sera réalisé en partenariat avec le centre de recherche d'Arvida du groupe Rio Tinto Aluminium. Les équipes techniques des usines concernées seront également consultées. Les activités de recherches seront réalisées par trois étudiants (2 Ph.D. & 1 M.Sc.), encadrés par une équipe multidisciplinaire de chercheurs internationaux. Ce projet permettra de conforter l'aluminium Québécois comme un des plus respectueux de l'environnement et de maintenir le savoir faire déjà reconnu de la province dans ce secteur.

### **Partenaire du projet**

- Rio Tinto Alcan

**Résultats :** Rapport final prévu au début de l'année 2020

**Durée du projet :** 3 ans

**Budget total accordé pour ce projet :** 300 000 \$



**ANNEXE**

**LISTES DES PROJETS FINANCÉS**



## Projets financés 1<sup>er</sup> concours

Responsable Établissement	Titre du projet	Exercices	Montants accordés	Total
Aubertin, Michel École polytechnique	Disposition des roches stériles pour minimiser leur impact environnemental : Conception optimale des haldes et utilisation novatrice des stériles sur les sites miniers	2014-2015 2015-2016 2016-2017	107 500 \$ 125 000 \$ 67 500 \$	300 000 \$
Bazin, Claude Université Laval	Optimisation économique des opérations d'extraction et de séparation des éléments de terres rares	2014-2015 2015-2016 2016-2017	40 300 \$ 44 850 \$ 44 800 \$	129 950 \$
Beaudoin, Georges Université Laval	Nouvelles méthodologies utilisant les minéraux indicateurs en exploration	2014-2015 2015-2016 2016-2017	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Beaudoin, Georges Université Laval	Séquestration du carbone couplée à la récupération de l'énergie géothermique	2014-2015 2015-2016 2016-2017	100 000 \$ 98 500 \$ 100 000 \$	298 500 \$
Chen, Li Zhen UQAT	Développement des outils d'interprétation pour deux nouveaux systèmes géophysiques dédiés à la détection d'amas minéralisés enfouis profondément	2014-2015 2015-2016 2016-2017	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Dimitrakopoulos, Roussos Université McGill	Développement d'une stratégie globale d'optimisation de sites miniers avec incertitude : Amélioration de la viabilité économique et de la gestion environnementale des résidus miniers d'une mine de fer dans le Nord	2014-2015 2015-2016 2016-2017	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Fortin, Claude INRS	De l'échelle du mésocosme à celle du Nunavik : Développement d'un bio indicateur pour le suivi de la contamination métallique en région minière	2014-2015 2015-2016 2016-2017	89 300 \$ 85 300 \$ 85 300 \$	259 900 \$
Gloaguen, Erwan INRS	Assimilation stochastique de données géophysiques pour la modélisation géologique et de teneur en trois dimensions	2014-2015 2015-2016 2016-2017	100 000 \$ 97 000 \$ 94 000 \$	291 000 \$
Grenon, Martin Université Laval	Caractérisation et conception géomécanique intégrée pour l'exploitation minière en profondeur et en milieu nordique	2014-2015 2015-2016 2016-2017	83 000 \$ 124 000 \$ 93 000 \$	300 000 \$

Responsable Établissement	Titre du projet	Exercices	Montants accordés	Total
Jébrak, Michel UQAM	Géochronologie des corridors magmatiques hydrothermaux fini-Archéens du Québec	2014-2015 2015-2016 2016-2017	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Laflamme, Marcel Université Laval	Développement d'un analyseur portatif pour l'or	2014-2015 2015-2016 2016-2017	96 800 \$ 100 050 \$ 103 150 \$	300 000 \$
Laflamme, Marcel Université Laval	Mines profondes : défis d'exploitation et impacts sur la récupération minéralurgique	2014-2015 2015-2016 2016-2017	105 245 \$ 94 405 \$ 100 350 \$	300 000 \$
Mbonimpa, Mamert UQAT	Remblai minier en pâte cimenté dans le pergélisol : étude du transport et des conditions thermiques de cure	2014-2015 2015-2016	67 200 \$ 43 200 \$	110 400 \$
Mercier, Guy INRS	Séquestration du CO <sub>2</sub> à la cheminée dans l'industrie du fer par carbonatation minérale de résidus miniers : valorisation de deux déchets	2014-2015 2015-2016	100 000 \$ 100 000 \$	200 000 \$
Rodon, Thierry Université Laval	Des mines et des communautés : mieux comprendre les impacts du développement minier sur les communautés autochtones et non-autochtones du Nord	2014-2015 2015-2016 2016-2017	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Ross, Pierre-Simon INRS	Valorisation des carottes de forage d'exploration minière grâce au perfectionnement du Laboratoire mobile de caractérisation physique, minéralogique et chimique des roches (LAMROC)	2014-2015 2015-2016	100 000 \$ 100 000 \$	200 000 \$
Rousse, Daniel ÉTS	Potentiel des systèmes énergétiques hybrides éolien diesel air comprimé pour les sites isolés	2014-2015 2015-2016	85 500 \$ 114 500 \$	200 000 \$
Roy, Sébastien Université Sherbrooke	La revégétalisation comme outil d'intervention et de rétablissement des services écosystémiques sur les sites miniers non-acidogènes	2014-2015 2015-2016 2016-2017	97 600 \$ 115 847 \$ 86 302 \$	299 749 \$
Roy, Sébastien Université Sherbrooke	Prédictions critiques en revégétalisation de résidus acidogènes : effet des symbioses plantes-microorganismes sur la translocation des métaux et mécanismes assurant le maintien de l'homéostasie chez l'aulne dans ces environnements	2014-2015 2015-2016 2016-2017	87 900 \$ 114 347 \$ 94 802 \$	297 049 \$
Total	19 projets	2014-2015 2015-2016 2016-2017	1 760 345 \$ 1 856 999 \$ 1 369 204 \$	4 986 548 \$

## Projets financés 2<sup>e</sup> concours

Responsable Établissement	Titre du projet	Exercices	Montants accordés	Total
Bazin, Claude Université Laval	Simulation des circuits de concentration gravimétrique pour les minerais de fer du nord québécois	2015-2016 2016-2017 2017-2018	41 500 \$ 42 500 \$ 36 000 \$	120 000 \$
Beaudoin, Georges Université Laval	Métallogénie et contexte géodynamique du contact La Grande-Opinaca, Baie-James (Québec)	2015-2016 2016-2017 2017-2018	90 000 \$ 125 750 \$ 83 500 \$	299 250 \$
Bédard, Paul UQAC	Développement d'une méthodologie de reconnaissance automatisée des grains d'or et de silicates dans les concentrés de minéraux lourds	2015-2016 2016-2017 2017-2018	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Bussièrre, Bruno UQAT	Influence de la végétation sur la performance de barrières à l'oxygène pour contrôler le drainage minier acide	2015-2016 2016-2017 2017-2018	82 430 \$ 128 270 \$ 89 300 \$	300 000 \$
Debia, Maximilien U. de Montréal	Qualité de l'air dans les mines ultraprofondes : contrôle des émanations de moteur diesel	2015-2016 2016-2017 2017-2018	109 000 \$ 115 000 \$ 76 000 \$	300 000 \$
Giroux Bernard INRS	Nouveaux développements en suivi par écoute microsismique	2015-2016 2016-2017 2017-2018	59 650 \$ 74 800 \$ 75 800 \$	210 250 \$
Goïta, Kalifa Université de Sherbrooke	Cartographie minéralogique par télédétection pour l'aide à l'optimisation de la gestion des roches stériles	2015-2016 2016-2017 2017-2018	91 000 \$ 120 000 \$ 48 000 \$	259 000 \$
Hallé, Stéphane ETS	Développement d'une veste de refroidissement individuelle adaptée au travail en mines profondes	2015-2016 2016-2017 2017-2018	90 500 \$ 100 000 \$ 97 500 \$	288 000 \$
Hassini, Faramarz Ferri Université McGill	Définir, développer, déployer, tester et valider des technologies et procédés avancés de surveillance, de contrôle et d'automatisation afin de permettre l'opération à distance de foreuses rotatives	2015-2016 2016-2017 2017-2018	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Ilinca, Adrian UQAR	Augmentation de l'efficacité énergétique des locomotives en optimisant la charge thermique et pneumatique	2015-2016 2016-2017 2017-2018	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$

Responsable Établissement	Titre du projet	Exercices	Montants accordés	Total
Khasa, Damase Université Laval	Revégétalisation de sites miniers à l'aide d'un nouveau concept agroforestier d'hydroensemencement herbacé et de plantation de ligneux biofortifiés avec des microsymbiotes racinaires	2015-2016 2016-2017 2017-2018	99 000 \$ 99 000 \$ 97 000 \$	295 000 \$
Larivière, Dominic Université Laval	Étude du comportement et de la biodisponibilité de l'uranium, du thorium et de leurs produits de filiation dans des résidus miniers pour des fins de valorisation	2015-2016 2016-2017 2017-2018	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Li, Li École Polytechnique	Remblayage des chantiers et disposition des rejets solides pour un développement minier sécuritaire et durable : Études de l'interaction entre les remblais et les structures encaissantes dans des mines profondes	2015-2016 2016-2017 2017-2018	98 500 \$ 85 500 \$ 50 000 \$	234 000 \$
Neculita, Carmen Mihaela UQAT	Prédiction et traitement passif du drainage minier en climat nordique	2015-2016 2016-2017 2017-2018	97 300 \$ 105 300 \$ 97 400 \$	300 000 \$
Richer-Lafèche, Marc INRS	Études électromagnétique et géoélectrique de hautes puissances appliquées à la prospection de gîtes de sulfures massifs profonds et à la discrimination spectrale de différents types d'anomalies de chargeabilité électrique au Québec	2015-2016 2016-2017 2017-2018	49 000 \$ 54 000 \$ 80 000 \$	183 000 \$
Rocheffort, Dominic Université de Montréal	Extraction et enrichissement de terres rares contenues dans les résidus miniers par liquides ioniques fonctionnalisés	2015-2016 2016-2017 2017-2018	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Roy, Sébastien Université de Sherbrooke	Développement de techniques de réhabilitation écologique prédictives : étude de la sélection naturelle d'arbres et herbacées (sur 50 ans) sur un dépôt de résidus acidogènes	2015-2016 2016-2017 2017-2018	108 600 \$ 102 390 \$ 88 605 \$	299 595 \$
Soucy, Gervais Université Sherbrooke	Application du réacteur plasma à lit fluidisé pour le traitement de la pegmatite riche en lithium	2015-2016 2016-2017 2017-2018	99 973 \$ 99 909 \$ 99 909 \$	299 791 \$
Tagnit-Hamou, Arezki Université Sherbrooke	Valorisation dans les bétons de la silice amorphe issue de l'extraction du magnésium métallique contenu dans la serpentine	2015-2016 2016-2017 2017-2018	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Total	19 projets	2015-2016 2016-2017 2017-2018	1 716 453 \$ 1 852 419 \$ 1 619 014 \$	5 187 886 \$

**Projets financés**  
**Volet Perception sociale de l'industrie minière et**  
**acceptabilité sociale des projets miniers**

Responsable Établissement	Titre du projet	Exercices	Montants accordés	Total
He, Jie U. de Sherbrooke	Perception sociale de l'industrie minière et acceptabilité sociale des projets miniers	2016-2017 2017-2018	89 000 \$ 61 000 \$	150 000 \$
Jébrak , Michel U. du Québec à Montréal	Partager les informations avec les communautés par l'indice du risque social	2016-2017 2017-2018	75 000 \$ 75 000 \$	150 000 \$
Malo, Michel Institut national de la recherche scientifique (INRS)	Analyse de la perception des québécois sur le développement des ressources minérales et comparaison de l'acceptabilité sociale avec le développement d'autres ressources naturelles	2016-2017 2017-2018	62 000 \$ 62 000 \$	124 000 \$
<b>Total</b>	<b>3 projets</b>	<b>2016-2017 2017-2018</b>	<b>226 000 \$ 198 000 \$</b>	<b>424 000 \$</b>



## Projets financés 3<sup>e</sup> concours

Responsable Établissement	Titre du projet	Exercices	Montants accordés	Total
Ayotte, Patrick U. de Sherbrooke	Émissions de poussières de résidus miniers — études de l'effet des méthodes et niveaux d'assèchement sur leurs propriétés physico-chimiques et impacts sur l'albédo du couvert nival	2016-2017 2017-2018 2018-2019	100 000 \$ 100 000 \$ 94 682 \$	294 682 \$
Belem, Tikou U. du Québec en Abitibi-Témiscamingue	Épaississement des pulpes de résidus miniers destinés à la déposition en surface ou à la fabrication des remblais en pâte cimentés à l'aide des polymères super-absorbants (PSA)	2016-2017 2017-2018 2018-2019	94 350 \$ 129 350 \$ 76 300 \$	300 000 \$
Blais, Jean-François Institut national de la recherche scientifique (INRS)	Développement de procédés de gestion/valorisation des rejets miniers et de résidus de procédés issus de l'extraction et de la concentration des terres rares à partir de roches de type carbonatites	2016-2017 2017-2018 2018-2019	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Bussière, Bruno U. du Québec en Abitibi-Témiscamingue	Développement d'une approche méthodologique visant à intégrer les changements climatiques à la conception des ouvrages de rétention des résidus miniers et de restauration	2016-2017 2017-2018 2018-2019	102 000 \$ 139 500 \$ 58 500 \$	300 000 \$
Cheng, Li Zhen U. du Québec en Abitibi-Témiscamingue	Nouvelle stratégie de mesures géophysiques en souterrain dédiée au développement des mines profondes	2016-2017 2017-2018 2018-2019	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Constantin, Marc U. Laval	Caractérisation des gîtes de terres rares d'intrusions alcalines : géologie, métallogénie et géométaballurgie du complexe syénitique de Kipawa	2016-2017 2017-2018 2018-2019	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Dollé, Mickael U. de Montréal	Développement de réacteur électromembranaire pour la production d'hydroxyde de lithium	2016-2017 2017-2018 2018-2019	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Grenon, Martin U. Laval	Contribution à la conception des galeries minières dans le contexte des mines profondes, sous hautes contraintes et soumises à la sismicité	2016-2017 2017-2018 2018-2019	84 500 \$ 131 500 \$ 84 000 \$	300 000 \$
Khasa, Damase U. Laval	Isolement, identification et sélection des symbiotes végétaux racinaires en vue d'améliorer la réhabilitation des habitats de la toundra arctique et alpine du Québec affectés par l'exploitation minière	2016-2017 2017-2018 2018-2019	100 000 \$ 100 000 \$ 99 940 \$	299 940 \$
Li, Li École Polytechnique	Gestion intégrée des rejets miniers pour les mines à ciel ouvert : Évaluation d'une approche de disposition des résidus et stériles réactifs dans les fosses	2016-2017 2017-2018 2018-2019	78 000 \$ 70 000 \$ 32 000 \$	180 000 \$

Responsable Établissement	Titre du projet	Exercices	Montants accordés	Total
Mercier, Guy Institut national de la recherche scientifique (INRS)	Étude du potentiel de séquestration du CO <sub>2</sub> industriel par les résidus de flottation de mine Arnaud	2016-2017 2017-2018 2018-2019	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Mostafavi, Mir Abolfazl U. Laval	Développement et optimisation de la technologie LiDAR mobile pour la modélisation 3D précise et la surveillance de la convergence des tunnels miniers	2016-2017 2017-2018 2018-2019	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Raymond, Jasmin Institut national de la recherche scientifique (INRS)	Potentiel des ressources et technologies géothermiques pour l'approvisionnement énergétique des mines du nord	2016-2017 2017-2018 2018-2019	87 000 \$ 113 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Rousse, Daniel École de technologie supérieure	Communauté minière nordique net-zéro	2016-2017 2017-2018 2018-2019	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
Roy, Sébastien U. de Sherbrooke	Développement d'une approche durable de restauration progressive d'extrants miniers mixtes (stériles et résidus) des nouvelles mines du Nord Québécois; les espèces végétales indigènes à la rencontre des besoins des communautés cries.	2016-2017 2017-2018 2018-2019	85 684 \$ 101 116 \$ 113 169 \$	299 969 \$
St-Hilaire, André Institut national de la recherche scientifique (INRS)	Développement d'outils d'évaluation et d'atténuation des impacts potentiels de la récolte de tourbe sur la qualité de l'eau des cours d'eau récepteurs	2017-2018 2017-2018 2018-2019	100 000 \$ 98 975 \$ 78 000 \$	276 975 \$
<b>Total</b>	<b>16 projets</b>	2016-2017 2017-2018 2018-2019	1 531 534 \$ 1 683 441 \$ 1 436 591 \$	4 651 566 \$

## Projets financés

### Volet valorisation des résidus miniers

Responsable Établissement	Titre du projet	Exercices	Montants accordés	Total
Abatzoglou, Nicolas U. de Sherbrooke	Valorisation du résidu minier UGSO en une nouvelle famille de catalyseurs	2016-2017 2017-2018 2018-2019	110 959 \$ 96 638 \$ 92 096 \$	299 693 \$
Bazin, Claude U. Laval	Production de concentrés de phosphates et de magnétite à partir des résidus miniers du concentrateur de la mine Niobec	2016-2017 2017-2018 2018-2019	22 800 \$ 31 000 \$ 21 200 \$	75 000 \$
Demers, Isabelle U. du Québec en Abitibi-Témiscamingue	Optimisation de la production de rejets désulfurés en vue de leur valorisation dans la restauration de sites miniers	2016-2017 2017-2018 2018-2019	78 000 \$ 73 000 \$ 59 000 \$	210 000 \$
Li, Li École Polytechnique	Valorisation des roches stériles sur les sites miniers : Élaboration de critères hydro-géotechniques et opérationnels pour maximiser l'utilisation des stériles dans les couvertures, les inclusions et les structures de routes	2016-2017 2017-2018 2018-2019	112 000 \$ 96 000 \$ 32 000 \$	240 000 \$
Mbonimpa, Mamert U. du Québec en Abitibi-Témiscamingue	Valorisation des boues pour le contrôle de la dispersion de poussières par l'érosion éolienne et la restauration des sites miniers	2016-2017 2017-2018 2018-2019	92 033 \$ 145 292 \$ 62 675 \$	300 000 \$
Mercier, Guy Institut national de la recherche scientifique (INRS)	Valorisation des résidus de Bauxite pour l'épuration des gaz d'une aluminerie (CO <sub>2</sub> et SO <sub>2</sub> )	2016-2017 2017-2018 2018-2019	100 000 \$ 100 000 \$ 100 000 \$	300 000 \$
<b>Total</b>	<b>6 projets</b>	2016-2017 2017-2018 2018-2019	515 792 \$ 541 930 \$ 366 971 \$	1 424 693 \$