



**QMÉ**  
Québec **Mines+Énergie**

RÉSUMÉS DES CONFÉRENCES  
ET DES PHOTOPRÉSENTATIONS  
**DV 2018-03**

## **Coordonnateurs**

Marie-Eve Lagacée

## **Traduction et révision linguistique**

Venetia Bodycomb  
Michèle Mainville  
Marie Racine, ing.

## **Révision des textes**

Claude Dion, ing.

## **Conception graphique**

André Tremblay

## **Couverture, mise en page**

André Tremblay

## **AVERTISSEMENT**

Les données utilisées pour rédiger ce rapport proviennent de sources diverses. L'exactitude et la fiabilité de ces données dépendent entièrement de ces sources.

## TABLE DES MATIÈRES

Résumés des conférences.....	6
Résumés des photoprésentations.....	37
Acronymes .....	75

## RÉSUMÉS DES CONFÉRENCES

## SÉANCE 1

**Le comité de suivi, une initiative proactive deux ans avant les obligations légales** ..... 8

Valérie Gourde (Eldorado Gold Lamaque)

**Le comité de suivi, un canal efficace pour comprendre, impliquer et informer la communauté** ..... 8

Sylvie Hébert (Ville de Val-d'Or)

**Le comité de suivi, une activité responsable et transparente qui bénéficie à l'ensemble des parties prenantes**..... 9

Joël Gauthier (Eldorado Gold Lamaque)

## SÉANCE 3

**Les défis et succès de l'implantation de la ventilation sur demande (VOD) à la mine Éléonore**..... 9

Alexis Lemire (Goldcorp)

## SÉANCE 4

**Avancement des connaissances en matière de restauration minière**.....10

Angélique Gagné (MERN)

**La restauration du site minier abandonné Manitou : bilan et résultats de dix années d'un partenariat novateur**.....10

Mélanie Roy (Mines Agnico-Eagle), Marie-Pier Éthier (IRME UQAT-Polytechnique), Sophie Turcotte (MERN)

**La restauration du site minier abandonné New Calumet** .....11

Sophie Proulx (MERN), Carl Gauthier, Simon Latulippe (WSP Canada)

**La restauration du site abandonné de la mine Principale : approche méthodologique et principaux résultats** .....11

Joh Maqoud, Bruno Buisnière, Hassan Bouzahzah (IRME UQAT-Polytechnique)

## SÉANCE 6

**Métallogénie du cobalt et potentiel au Québec** ...12

Michel Jébrak (UQAM, SIDEX), Noémie Fayol (IMT Mines Alès), Isabelle Cadieux (SIDEX)

**Le cobalt dans le gisement Dumont, Abitibi** .....12

Alger St-Jean (RNC Minerals)

**Le cobalt et le scandium dans les profils latéritiques**.....13

Marc Antoine Audet (Sama Resources)

**Histoire stratigraphique et structurale de la région de Cobalt en Ontario : contrôles de la mise en place des veines minéralisées**.....13

S. White, Phil C. Thurston (Université Laurentienne), Frank Santaguida (First Cobalt)

**Managem fête son 90<sup>e</sup> anniversaire dans le domaine de la valorisation de cobalt en Afrique**... 14

Mohammed Zouhair, Younes Halhal, Belkadir Yassine, Lhou Maacha, Hassan Nabil (Managem)

## SÉANCE 8

**L'intelligence artificielle et les données massives : potentiels et défis** ..... 14

François Laviolette (UL)

**Données massives, intelligence artificielle, technologie géospatiale et Internet des objets : simples tendances ou véritables atouts pour l'exploration et l'exploitation des ressources minérales et énergétiques**..... 15

Thierry Badard (UL)

**Exploration vs exploitation : l'apprentissage de modèles pour l'optimisation et la prise de décisions** ..... 15

Christian Gagné (UL)

**Aborder le virage numérique : l'exemple du secteur manufacturier et panorama des transformations dans ce secteur** ..... 16

Jonathan Gaudreault (UL)

**Vers la conception de véhicules autonomes adaptés aux conditions hivernales**..... 16

François Pomerleau (UL)

## SÉANCE 9

**À la recherche d'un équilibre : entreprises autochtones, environnement et mines** ..... 17

Peter Vanriel (Canada North Environmental Services) ..... 17

**Nouvelles approches pour les perspectives commerciales via des partenariats locaux au Nunavut : au-delà des ententes sur les répercussions et les avantages** ..... 17

Suzanne Leclair (Mines Agnico Eagle)

**Services miniers Tawich – Vision et défis .....18**

Dennis Georgekish (Tawich Development)

**Miser sur les droits : les arguments économiques pour la reconnaissance des droits autochtones..18**

Abel Bosum (Grand Conseil des Cris)

## **SÉANCE 10**

**Mine du futur : mythes et réalités.....19**

François Vézina (Redevances aurifères Osisko)

**La kimberlite et les défis d'une exploitation souterraine; l'expérience de Stornoway .....19**

Guy Bourque, David Langlois (Stornoway)

**Système d'exploitation à faible pendage (*Shallow Angle Mining System ou SAMS™*) à la mine Lamaque .....20**

Marc R. Beauvais (Minrail), Félix Normand (Eldorado Gold)

**Projet Meliadine : défis liés au développement minier en territoire nordique.....20**

Martin Plante (Mines Agnico-Eagle)

**Camion automatisé et télémétrie .....21**

Jocelyn Raymond (Hecla Québec)

## **SÉANCE 11**

**SIGÉOM : d'hier à demain. ....21**

Charles Roy (MERN, retraité)

**Détection et prédiction de la signature des gîtes d'or de type orogénique : comparaison des résultats de la logique bayésienne (Hypercube) et du poids des évidences (WofE).....22**

Clément Dombrowsky (IOS), Paulo Ferrera (BearingPoint),  
Éric Larouche (Goldcorp Canada)

**Utilisation des forêts aléatoires (*random forest*) pour l'estimation des éléments chimiques en exploration.....22**

Nathalie Schnitzler (Ressources Sirios), Erwan Gloaguen,  
Pierre-Simon Ross (INRS-ETE)

**L'utilisation des algorithmes de regroupement et des cartes auto-adaptives pour des données géochimiques d'altération .....23**

Jean-Philippe Paiement (Mira Geoscience)

**ARTPhot et ARTMorph : routines de reconnaissance automatisée des grains d'or détritiques et de leur morphologie .....23**

Alexandre Néron, Jonathan Tremblay, Réjean Girard (IOS)

**L'apprentissage automatique appliqué à la géophysique en forage : un outil d'interprétation quantitatif en exploration minière. ....24**

Martin Blouin, Lorenzo Perozzi (Geolearn),  
Antoine Caté (SRK Consulting)

**Vers une reconnaissance automatisée des phases minérales par imagerie optique .....24**

Kevin Bouchard, Julien Maître, Paul Bédard (UQAC)

**L'apprentissage profond comme outil de traitement de données sismiques .....25**

Gabriel Fabien-Ouellet (Polytechnique)

**Risque géotechnique dans les mines souterraines : une approche par apprentissage automatique ...25**

Lorenzo Perozzi, Erwan Gloaguen (INRS-ETE),  
Valérie Laflèche, John McGaughey (Mira Geosciences)

## **SÉANCE 12**

**Mine de rien : des relations harmonieuses au cœur de la prévisibilité économique .....26**

Ghislain Picard, (chef de l'Assemblée des Premières Nations du Québec et du Labrador)

**Protection de l'environnement et de la culture autochtone dans les ERA : l'importance de former des partenariats entre promoteurs et communautés des Premières Nations .....26**

Olivier Courtemanche (Institut de développement durable des Premières Nations du Québec et du Labrador)

**Comment les Premières Nations peuvent relancer leur propre économie .....27**

Shaun Loney

## **SÉANCE 13**

**Systèmes hydrothermaux riches en or sur le fond marin .....27**

John W. Jamieson (Memorial U.), Mark D. Hannington  
(Univ. d'Ottawa et GEOMAR), Amy Gartman (USGS)

**Indicateurs temporels, géochimiques et isotopiques de la fertilité des provinces volcaniques pour les gisements de sulfures massifs encaissés dans des roches volcaniques .....28**

David L. Huston, David C. Champion (Geoscience Australia),  
Bruce Eglington (University of Saskatchewan),  
Sally Pehrsson (CGC-0)

**Le complexe aurifère Doyon-Westwood, Abitibi, Québec : un système magmatique-hydrothermal synvolcanique archéen .....28**

David Yergeau (INRS-ETE, Mines Agnico-Eagle),  
Patrick Mercier-Langevin, Benoît Dubé (CGC-Q),  
Alan Galley (Malleus Consulting), Vicki McNicoll, Simon E.  
Jackson (CGC-O), Michel Malo (INRS-ETE)

**Le SMV aurifère de Lemoine, Chibougamau, Québec : teneurs exceptionnelles dues à une contribution magmatique directe?.....29**

Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Benoit Lafrance  
(Ressources Tarku), Valérie Bécu (CGC-Q), Pierre-Simon Ross  
(INRS-ETE), Benoît Dubé (CGC-Q), Ingrid Kjarsgaard (consultante), Jayanta Guha (UQAC), Alexandre Boulerice (INRS-ETE)

**Multiples processus de remobilisation de l'or dans les SMV aurifères à métamorphisme de forte intensité : l'exemple du gisement Lalor, Snow Lake, Manitoba .....29**

Antoine Caté (SRK Consulting), Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Pierre-Simon Ross (INRS-ETE), Benoît Dubé (CGC-Q)

## **SÉANCE 14**

**Halage hybride au diesel .....30**

Michael Lyten (Komatsu Mining Corp. Group)

**La mine souterraine en roche dure sans diesel..30**

Michael Lyten (Komatsu Mining Corp. Group)

**Les tests de sécurité des véhicules électriques et comment ils s'appliquent au secteur minier...31**

Dean MacNeil (CNRC)

**Économies de carburant potentielles découlant de l'analyse du cycle de service d'un véhicule minier .....31**

Benoît Lacroix (Effenco)

## **SÉANCE 15**

**L'intelligence artificielle en traitement minéral : optimisation en temps réel théorique et pratique ..32**

Mark de Geus, Grant Kopec, Hugh McNamara, Boris Wolter, Cristian Gonzalez, Chris Hallson (Intellisense)

**Valorisation des données en temps réel par l'intelligence artificielle dans les mines souterraines .....32**

Michel Dubois, Louis-Pierre Campeau (Newtrax)

**L'intelligence artificielle appliquée au forage de production dans les exploitations de surface .....33**

François Gariépy (Peck Tech Consulting),  
Gilles Éric Zagré (GERAD)

**L'intelligence artificielle appliquée au contrôle de la dilution minière souterraine .....33**

Yvan Dionne, Luis Montiel (PROMINE),  
Kilian Bao (DT Solution Services)

**Intelligence artificielle et première transformation des métaux : trois applications dans le domaine de l'aluminium .....34**

Simon Potvin, Olivier Gagnon (Alworx),  
Sébastien Bujold (Aluminerie Alouette)

## **SÉANCE 17**

**Les données géophysiques régionales préconcurrentielles : la situation actuelle et l'avenir .....34**

Jenna McKenzie (Ronacher McKenzie Geoscience),  
Ken Witherly (Condor Consulting),  
Elisabeth Ronacher (Ronacher McKenzie Geoscience)

**La géophysique dans le cadre du projet Metal Earth pour mieux comprendre l'enrichissement en métaux des roches précambriennes.....35**

Richard Smith, Esmaeil Eshaghi, Saeid Cheraghi, Mostafa Naghizadeh, Eric Roots, Graham Hill (Université Laurentienne)

**Écoute – Vision – Action : les récentes avancées technologiques en géophysique d'exploration minière. ....35**

Pierre Bérubé (Abitibi Géophysique)

**Comment extraire l'information géologique des données géophysiques à l'aide d'une approche interprétative intégrée .....36**

Gervais Perron, Glenn Pears, John McGaughey (Mira Geosciences)

**Assimilation stochastique en 3D de données ERT et gravimétriques en utilisant la simulation séquentielle bayésienne .....36**

Shiva Tirdad, Abderrezak Bouchedda, Erwan Gloaguen (INRS-ETE), J. Christian Dupuis (UL)

## SÉANCE 1

### **Le comité de suivi, une initiative proactive deux ans avant les obligations légales**

**Valérie Gourde (Eldorado Gold Lamaque)**

Filiale d'Eldorado Gold, Eldorado Gold Lamaque gère le projet Lamaque, une mine d'or souterraine en phase de préproduction située près de la ville de Val-d'Or. En 2015, l'entreprise a amorcé ses démarches d'information et de consultation auprès de la communauté pour mieux connaître et comprendre les préoccupations du milieu. La démarche d'information auprès des parties prenantes s'est conclue par la formation d'un comité de consultation à l'image de la communauté, sous la supervision d'une firme indépendante. Très rapidement, le comité de consultation recommande la mise sur pied d'un comité de suivi afin d'échanger avec le milieu sur les diverses phases du projet : développement, construction, exploitation et restauration. Tous les trimestres, les membres du comité ainsi que les représentants de l'entreprise et de la firme indépendante se rencontrent pour discuter sur la mise à jour du projet et présenter diverses thématiques. Le comité de suivi du projet Lamaque se distingue par sa constitution précoce, près de deux ans avant les obligations légales de l'entreprise, et par la prise en compte des préoccupations du milieu dans le cadre de ses activités.

## SÉANCE 1

### **Le comité de suivi, un canal efficace pour comprendre, impliquer et informer la communauté**

**Sylvie Hébert (Ville de Val-d'Or)**

Le comité de suivi est un canal de communication privilégié et efficace pour la communauté. Ce canal lui permet de comprendre les enjeux et les impacts relatifs à une exploitation minière, de mesurer les retombées économiques d'un projet, de recevoir de l'information vulgarisée et de poser des questions, en plus d'être représentée par des individus de tous horizons. Pour l'entreprise, l'apport des membres du comité de suivi permet de bonifier son projet, en tenant compte des préoccupations du milieu, et d'innover afin de minimiser les impacts sur la communauté.

## SÉANCE 1

### Le comité de suivi, une activité responsable et transparente qui bénéficie à l'ensemble des parties prenantes

**Joël Gauthier (Eldorado Gold Lamaque)**

L'approche d'Eldorado Gold Lamaque en matière de responsabilité sociale se scinde en trois éléments : contribuer au développement économique de notre communauté, se comporter de façon responsable en accordant la priorité à la gestion environnementale et donner la priorité aux humains. Compte tenu de notre façon d'opérer, nous souhaitons créer des avantages réels, durables et tangibles afin de laisser un héritage à la communauté. Depuis les débuts du projet Lamaque en 2011, notre contribution au développement de notre communauté s'est effectuée de façon directe, avec les emplois et les achats locaux, ainsi que de façon indirecte grâce à nos investissements et à notre implication humaine et financière dans le milieu. Entre les grands enjeux de l'industrie minière et les obligations légales et réglementaires auxquelles nous nous conformons, nous agissons dans le respect de chacune de nos parties prenantes.

## SÉANCE 3

### Les défis et succès de l'implantation de la ventilation sur demande (VOD) à la mine Éléonore

**Alexis Lemire (Goldcorp)**

La technologie de la ventilation sur demande dans les mines souterraines a connu une forte effervescence dans les dernières années. Ses avantages en matière d'économie d'énergie et de qualité de l'air sont bien connus. Cette technologie éprouvée a été implantée à la mine Éléonore de Goldcorp (Baie-James, Québec), où elle est en fonction depuis le début des activités de production en 2014. Du fait de son ampleur, le réseau de ventilation de la mine Éléonore est complexe et très énergivore s'il n'est pas contrôlé. Le réseau principal comprend deux ventilateurs de surface de 2000 HP en parallèle. Sous terre, près de 200 ventilateurs auxiliaires totalisant 17 000 HP ont été installés. Même si la ventilation sur demande est décrite comme la possibilité de diriger l'air aux endroits requis et aux moments voulus, il existe une multitude de niveaux de contrôle. L'équipe d'Éléonore a opté pour le niveau de contrôle le plus avancé, soit un système de localisation des équipements et du personnel en temps réel. Un système de suivi de l'environnement souterrain vérifiant les concentrations de gaz et les températures est également en place. La présentation évaluera la rentabilité du choix d'avoir la technologie la plus poussée pour l'exploitation de la mine. Plusieurs éléments de la ventilation sur demande ont été évalués afin de cerner ses réels avantages. En outre, il est possible aujourd'hui de savoir quelles auraient été les économies si un niveau de contrôle inférieur avait été choisi. Nous discuterons des défis rencontrés pendant les différentes phases du projet, de son implantation jusqu'à sa réalisation. C'est l'occasion idéale de capturer l'ingéniosité de ce produit et en savoir plus sur la ventilation souterraine d'aujourd'hui.

## SÉANCE 4

### Avancement des connaissances en matière de restauration minière

Angélique Gagné (MERN)

Au Québec, le développement minier a débuté vers la fin du 19<sup>e</sup> siècle. Les principales techniques de réhabilitation des sols contaminés ont longtemps été l'enfouissement et le confinement. À compter des années 1960, la contamination de l'environnement et les risques pour la santé et la sécurité des personnes ont incité le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) à intégrer l'aspect environnemental à la gestion des sites miniers. Les techniques de restauration et les exigences ont évolué. Aujourd'hui, l'exploitant minier doit notamment faire approuver un plan de réaménagement et de restauration du site minier par le MERN, fournir une garantie financière permettant de s'assurer que des sommes seront disponibles pour exécuter les travaux prévus au plan de restauration en cas de défaut du requérant et, finalement, obtenir une autorisation du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques pour la réalisation des travaux. Cette conférence présente l'avancement des connaissances et l'évolution des exigences en matière de restauration minière.

## SÉANCE 4

### La restauration du site minier abandonné Manitou : bilan et résultats de dix années d'un partenariat novateur

Mélanie Roy (Mines Agnico-Eagle), Marie-Pier Éthier (IRME), Sophie Turcotte (MERN)

Le projet de restauration du site minier Manitou, un partenariat entre le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles et Mines Agnico Eagle, représentait un défi en matière de développement durable. Comme le site était composé de résidus fortement générateurs d'acide, il a été décidé qu'il serait complètement recouvert de résidus alcalins provenant de la mine Goldex. Les premières étapes de restauration au site Manitou ont commencé en 2007 : confinement des résidus de Manitou, aménagement d'accès au site, installation d'un pipeline sous haute pression, réduction du bassin versant et aménagement en bordure de la rivière Bourlamaque. Depuis septembre 2008, des résidus miniers de la mine Goldex sont acheminés et déposés au site Manitou (environ 12,5 millions de tonnes de résidus au 1<sup>er</sup> septembre 2018). Au cours des années, le concept de restauration, élaboré en partenariat novateur, était en constante évolution sur différents plans : géotechniques, hydrogéologiques et opérationnels. Les éléments clés du succès de cette restauration sont connus et schématisés. Les résultats des différents suivis effectués sur le site indiquent un bilan positif, démontrant que le concept visé est en train de se réaliser.

## SÉANCE 4

### La restauration du site minier abandonné New Calumet

**Sophie Proulx (MERN), Carl Gauthier, Simon Latulippe  
(WSP Canada)**

L'ancien site minier New Calumet compte trois aires d'accumulation de résidus miniers (A, B et C) provenant de l'extraction souterraine et du traitement du minerai de zinc, de plomb, d'or et d'argent entre 1942 et 1968. Le volume de résidus miniers présents sur le site a été estimé à 1 300 000 m<sup>3</sup> répartis sur 22 ha. Les résidus miniers ont été caractérisés comme étant lixiviables et potentiellement générateurs d'acide. Certains sont classés à risque élevé selon la Directive 019.

#### Parcs à résidus

Les résidus de l'aire A couvrent une superficie de 7,9 ha pour un volume 198 000 m<sup>3</sup>. Un recouvrement de type CEBC y a été aménagé, composé des couches suivantes : matériau granulaire de type MG-20, silt, sable et terre apte à la végétalisation.

Le concept a permis de préserver le milieu humide développé au cours des années à la surface de l'aire A. La stabilisation de la digue en aval et la construction d'un canal de dérivation du cours d'eau ont aussi été réalisées.

Les résidus de l'aire B couvrent une superficie de 4,9 ha pour un volume 633 000 m<sup>3</sup>. L'aire B a été reprofilée pour assurer la stabilité à long terme des résidus miniers et du recouvrement (pente 3H : 1V), nécessitant le déblai d'environ 200 000 m<sup>3</sup> de matériau qui a été transporté à l'aire C. Le recouvrement consiste en une natte bentonitique, en un système de drainage des eaux de surface, en une couche de matériau granulaire et de terre apte à la végétalisation.

La superficie et le volume de résidus avant la restauration à l'aire C étaient respectivement de 9,2 ha et de 426 000 m<sup>3</sup>. Le concept de restauration de l'aire C est identique à celui de l'aire B, à la suite du reprofilage et de la mise en place des déblais provenant de l'aire B et du secteur industriel.

#### Autres secteurs

Trois piliers de surface instables ont été délimités et sécurisés à l'aide de clôtures.

Les remblais miniers provenant du site industriel (17 000 m<sup>3</sup>) ont été excavés et déposés à l'aire C alors que 495 m<sup>3</sup> de sols contaminés en HP C10C50 ont été éliminés dans un lieu autorisé et 7 000 m<sup>3</sup> de sols contaminés en métaux gérés par analyse de risque.

Les vestiges des bâtiments et des infrastructures ont été démantelés et 2 500 m<sup>3</sup> de matières résiduelles ont été éliminés dans un lieu d'enfouissement autorisé. Le béton a été partiellement réutilisé comme matériau de construction dans les nouveaux ouvrages.

## SÉANCE 4

### La restauration du site abandonné de la mine Principale : approche méthodologique et principaux résultats

**Joh Maqsoud, Bruno Buisnière, Hassan Bouzahzah  
(IRME UQAT-Polytechnique)**

Le site de la mine Principale est situé sur l'île Merrill dans le lac aux Dorés, à environ 5 km au sud-est de la ville de Chibougamau. L'usine de traitement, mise en service dans les années 1950, a traité environ 26 millions de tonnes de minerai (1,6 % Cu et 0,3 g Au/t) provenant d'au moins douze gisements différents de la région. Les résidus miniers produits ont été entreposés dans trois parcs à résidus (A, B et C) dont la superficie totale est de 170 hectares. Après la cessation des activités minières et à la suite de la faillite de Ressources Campbell, le site de la mine Principale est devenu un site orphelin. Il a été pris en charge par le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles en mai 2010.

Certains des résidus miniers entreposés sur le site ont été caractérisés comme étant générateurs de drainage minier acide (DMA). Afin de limiter leur impact sur l'environnement, une restauration efficace du site est devenue une nécessité. Il est important de connaître les conditions hydrogéologiques du site et les propriétés des matériaux à restaurer avant de choisir le mode de restauration le plus approprié. Dans le cadre de cette conférence, nous présenterons les travaux réalisés sur le terrain afin de mieux comprendre la configuration du site et la nature des matériaux à restaurer ainsi que les essais en laboratoire pour vérifier les différents scénarios de restauration. Les conclusions de notre étude ont permis d'établir le scénario le plus approprié pour la restauration du site de la mine Principale. Des recommandations seront également faites concernant la démarche à adopter pour définir le ou les modes de restauration à implanter sur un site donné, et ce, avant la réalisation de travaux à grande échelle.

## SÉANCE 6

### Métallogénie du cobalt et potentiel au Québec

Michel Jébrak (UQAM, SIDEX), Noémie Fayol (IMT Mines Alès),  
Isabelle Cadieux (SIDEX)

La production mondiale de cobalt était d'environ 110 000 tonnes métal en 2016, soit 60 % provenant de mines de cuivre, 38 % de mines de nickel et seulement 2 % de mines de cobalt. La RDC compte pour plus de la moitié de la production mondiale. Le cobalt se présente soit en substitution dans les sulfures, soit sous la forme de sulfures, d'arséniures et d'oxydes. Cinq grands types de gisements sont connus : les gisements stratoïdes dans les sédiments pélitiques, style Copperbelt; les gisements magmatiques de nickel-cuivre-EGP; les veines polymétalliques à cinq éléments comme dans le district de Cobalt, en Ontario; les amas sulfurés de type Besshi; les gisements latéritiques. Le cobalt est aussi présent dans les shales noirs et les sédiments clastiques, les gîtes de type Mississippi Valley, les oxydes de fer à cuivre et or, les gîtes d'uranium sous discordance. C'est donc un métal largement distribué.

Il existe de nombreux sites favorables pour l'exploration du cobalt au Québec. Dans les roches archéennes de la Province du Supérieur, le cobalt est associé à des komatiites et à des dunités. En 2013, deux mines ont produit plus de 1100 tonnes de cobalt dans le secteur de Raglan, au sein de la ceinture protérozoïque de Cape Smith. Plusieurs indices de cobalt sont associés aux roches magmatiques mafiques à nickel-cuivre et à cobalt, principalement dans la Province de Grenville, dans les complexes de Matamec et de La Bostonais, le gabbro de Shabogamo, l'anorthosite de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean et le plateau de Manicouagan. Les terrains paléozoïques des Appalaches montrent de nombreuses anomalies géochimiques en sédiments de ruisseau dans le sud de la province. Le territoire québécois possède un bon potentiel pour ce métal dont l'utilisation sera grandissante dans le futur.

## SÉANCE 6

### Le cobalt dans le gisement Dumont, Abitibi

Alger St-Jean (RNC Minerals)

Le gisement Dumont, situé à 25 km de la ville d'Amos en Abitibi, représente une réserve de nickel et de cobalt de classe mondiale. De l'avis de RNC, le gisement Dumont, lorsqu'il sera en exploitation, serait la cinquième plus grande mine de sulfures de nickel du monde.

Les principaux permis nécessaires à la réalisation du projet ont été obtenus. La construction et l'exploitation de la mine et des installations de traitement sont favorisées par la présence d'excellentes infrastructures, notamment des réseaux routier et ferroviaire et un approvisionnement hydroélectrique à coût compétitif. Les roches stériles et les résidus miniers ne sont pas générateurs d'acides, ce qui constitue un avantage avéré sur le plan environnemental.

Les réserves prouvées et probables du projet Dumont s'élèvent à 1,18 milliard de tonnes de minerai contenant 3,15 millions de tonnes de nickel et 126 000 tonnes de cobalt. La mine produira du nickel et du cobalt pendant plus de 30 ans, tous deux contenus dans un même concentré. La production initiale sera de 33 kt/an de nickel et de 1,0 kt/an de cobalt. L'expansion à l'an cinq permettra d'atteindre une production moyenne de 51 kt/an de nickel et de 2,0 kt/an de cobalt.

Le filon-couche de Dumont comprend une zone ultramafique inférieure dont l'épaisseur est d'environ 450 m et une zone mafique supérieure d'environ 250 m d'épaisseur. La zone ultramafique est subdivisée en sous-zones : péridotite inférieure, dunite et péridotite supérieure. Les cumulats de minéraux sulfurés et d'alliages de fer et de nickel présents dans la dunite forment le gisement de Dumont. Le cobalt est surtout associé à la pentlandite  $[(Co,Ni,Fe)_9S_8]$  et à l'awaruite  $[(Co,Ni)_3Fe]$ . La pentlandite est la phase la plus enrichie en cobalt, avec une moyenne en pourcentage en poids de 3,96 % Co, suivie de l'awaruite avec une moyenne de 1 % Co.

Le minerai sera traité et transformé en un concentré de nickel à l'aide de technologies courantes et éprouvées, puis expédié pour affinage. Le taux de récupération du cobalt est de 42 %. Le concentré de sulfures produit aura la plus haute teneur au monde en nickel (29 %) et en cobalt (1 %). Il pourra alimenter autant le marché de l'acier inoxydable que celui des batteries pour véhicules électriques. Les études actuelles visent à optimiser la répartition entre ces deux marchés en évaluant le grillage et la sulfatation du concentré nickélique.

## SÉANCE 6

### Le cobalt et le scandium dans les profils latéritiques

Marc Antoine Audet (Sama Resources)

Le cobalt et le scandium sont deux éléments métalliques faisant partie d'un groupe restreint de métaux ayant un futur prometteur dans le domaine des « energy metals ». Les gisements de ces métaux sont rares et seuls les gisements latéritiques de nickel présentent des opportunités de production de ces deux métaux, simultanément et à grande échelle.

Après une revue de la distribution du cobalt et du scandium au sein des profils latéritiques de gisements connus en Nouvelle-Calédonie, en Côte d'Ivoire, en Guinée, au Brésil et en République dominicaine, la discussion portera sur les processus métallurgiques de production ainsi que les perspectives de marchés futurs, particulièrement pour le scandium.

## SÉANCE 6

### Histoire stratigraphique et structurale de la région de Cobalt en Ontario : contrôles de la mise en place des veines minéralisées

S. White, Phil C. Thurston (Université Laurentienne), Frank Santaguida (First Cobalt)

La région de Cobalt a produit plus de 12 milliards de grammes d'argent de ses veines d'arséniures d'Ag-Co. Bien que les veines à Cobalt et dans le canton de South Lorrain présentent une minéralogie similaire, leur contexte structural et stratigraphique est différent. Dans la région argentifère de Cobalt, plus de 90 % des veines sont dans les roches sédimentaires du Supergroupe de l'Huronien, près de la base d'un filon-couche de la Diabase de Nipissing. Dans le canton de South Lorrain, les veines sont encaissées dans des unités volcaniques archéennes, près du contact supérieur d'un filon-couche de la Diabase de Nipissing. Face à la demande croissante pour le cobalt, l'exploration a repris de la vigueur dans ces secteurs.

Notre compréhension de la région de Cobalt est en grande partie basée sur des travaux de cartographie datant des années 1950. Le socle est composé de granites et de roches vertes archéennes de la partie sud de la Ceinture de roches vertes de l'Abitibi. Les roches sédimentaires du Supergroupe de l'Huronien, d'âge paléoproterozoïque, recouvrent en discordance ce socle archéen, et le tout est recoupé par les dykes et filons-couches de la Diabase de Nipissing (2,2 Ga). Les veines d'arséniures d'Ag-Co, qui sont postérieures à la Suite de Nipissing, se sont formées à proximité du Nipissing et de la limite entre les roches archéennes et protérozoïques.

Nous proposons une stratigraphie distincte dans la succession volcanique archéenne, caractérisée par une dominance des coulées mafiques à intermédiaires, avec possiblement un horizon marqueur de basalte gloméroporphyrrique. Des roches volcaniques felsiques, y compris des coulées massives de rhyolite, des tufs et des brèches volcaniques, ainsi que quelques unités sédimentaires interlitées avec les unités volcaniques sont aussi présentes.

La région comprend plusieurs générations de structures. La déformation au sein de la succession volcanique archéenne a entraîné la formation de plis isoclinaux serrés, où le litage primaire est transposé pour devenir subparallèle à une foliation pénétrative secondaire à pendage abrupt. Dans les zones schisteuses ou phyllitiques, la foliation principale peut être crénelée en plis asymétriques en Z. Des sédiments plus jeunes de type Timiskaming sont observés en bordure de failles quasi verticales orientées NW-SE. Bien que ces sédiments soient plissés et que la plongée de l'axe des plis soit abrupte, ils ne sont pas transposés dans la schistosité de plan axial orientée E-W. Les strates protérozoïques sont généralement subhorizontales à faiblement inclinées; toutefois, des pendages abrupts ont été observés lorsqu'elles sont en contact avec le socle archéen. Les mesures de litage et les patrons cartographiés indiquent que la succession forme de grands plis subhorizontaux à plongement vers le SW.

La minéralisation peut suivre certains couloirs distincts. Les veines dans les unités archéennes sont parallèles au litage dans les zones bien stratifiées, tandis que certaines veines se sont formées préférentiellement le long de la foliation, là où cette dernière est bien développée. Dans les secteurs où les unités sont plus massives, les contrôles de la mise en place des veines sont moins évidents. Les veines au sein des sédiments protérozoïques ont un angle important relativement au litage; elles sont possiblement contrôlées par des éléments cachés dans le socle sous-jacent. De nouvelles données cartographiques, pétrographiques, géophysiques et géochronologiques permettront d'élaborer un modèle géologique pouvant expliquer les contrôles de la mise en place des veines afin d'aider l'exploration dans l'avenir.

## SÉANCE 6

### Managem fête son 90<sup>e</sup> anniversaire dans le domaine de la valorisation de cobalt en Afrique

Mohammed Zouhair, Younes Halhal, Belkabir Yassine, Lhou Maacha et Hassan Nabil (Managem)

Une vingtaine de pays se partagent l'exploitation du cobalt dans le monde. La RDC arrive en tête, avec presque 60 % de la part mondiale, suivie par la Chine et le Canada. Au classement des producteurs, le Maroc se situe à la 12<sup>e</sup> place, notamment grâce à la mine de Bou-Azzer située à 120 km au sud d'Ouarzazate. Cette mine souterraine, qui a la particularité de produire un cobalt primaire, a été découverte en 1928. Elle est exploitée par CTT, une filiale de Managem.

Le cobalt est principalement utilisé dans l'aéronautique et les batteries. Un consensus émerge quant aux perspectives de pénurie sur le marché du cobalt dans les prochaines années. Cependant, l'industrie aéronautique n'a pas d'appétit pour la sécurisation du cobalt et le marché est difficile d'accès d'un point de vue de l'homologation et de la qualité du produit. Les batteries rechargeables, quant à elles, représentent ~50 % de la demande totale de cobalt et la filière automobile est très sensible aux enjeux de sécurisation du cobalt, compte tenu des perspectives de demande de véhicules électriques.

Les produits du Maroc (Broken Cathode) ne sont pas spécifiquement adaptés à ce marché. Néanmoins, CTT dispose d'un savoir-faire dans la production de sels de cobalt (sulfate de cobalt) et projette de modifier le procédé actuel utilisé à sa raffinerie de cobalt installée à Marrakech. Cette intégration en aval permettrait à Managem de réduire sa dépendance aux cycles du prix des métaux, de réaliser une partie de la valeur de CTT, d'obtenir des effets d'échelle, d'augmenter la valeur ajoutée produite et d'intégrer la filière des batteries électriques. Pour renforcer sa proposition sur le marché du cobalt, CTT est amenée à développer des volumes additionnels, notamment au niveau de la métallurgie et de l'approvisionnement. Il y a lieu ainsi de construire une perspective sur plus de 20 ans pour les ressources et d'identifier les options de croissance des volumes tant dans la mine de Bou-Azzer que par le recyclage.

Différents acteurs ont manifesté leurs intérêts pour participer à la valorisation du cobalt avec Managem. Ce type de partenariat permettrait la création d'une activité à plus forte valeur ajoutée et d'une option de développement en aval dans l'industrie des matériaux pour batteries. Les contreparties à ce partenariat porteraient sur l'aspect financier et technologique.

## SÉANCE 8

### L'intelligence artificielle et les données massives : potentiels et défis

François Laviolette (UL)

Les données massives (*big data*) s'imposent comme une approche ouvrant un grand potentiel pour comprendre de façon plus fine et plus précise différents écosystèmes. Dans ce paradigme, on ne cherche plus à étudier une forêt, mais chaque arbre, afin d'en prédire la croissance, l'état de santé, ses besoins, etc. Les possibilités sont nombreuses, que ce soit un patient qui se voit proposer un traitement « personnalisé » ou un client qui se voit offrir le produit le plus adéquat. Dans le domaine de l'environnement, une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes urbains facilitera grandement les interventions.

Le potentiel et les espoirs fondés dans l'intelligence artificielle (IA) n'ont d'égal que l'ampleur des défis qui y sont rattachés. Nous ferons un survol de ce nouveau phénomène, des enjeux qu'il soulève, du potentiel qu'il apporte à la recherche et à l'innovation, notamment la découverte de médicaments. Nous verrons aussi comment l'IA, et plus spécialement l'apprentissage machine (*machine learning*), permet de faire percoler des informations de grande valeur du magma informe et si peu structuré de données massives. Quelques exemples d'algorithmes d'apprentissage seront présentés.

Nous aborderons finalement d'autres défis liés à l'IA, comme le problème de son interprétation par les humains. En effet, les IA sont très souvent construites comme des boîtes noires. Nous traiterons également des problèmes relatifs à l'équité, à la robustesse et à l'obtention d'une certification des IA.

## SÉANCE 8

### **Données massives, intelligence artificielle, technologie géospatiale et Internet des objets : simples tendances ou véritables atouts pour l'exploration et l'exploitation des ressources minérales et énergétiques**

**Thierry Badard (UL)**

Données massives (big data), intelligence artificielle, Internet des objets (Internet of things), technologies géospatiales... Ces mots à la mode, au-delà de leur omniprésence, qu'ont-ils à voir avec l'exploration et l'exploitation des ressources minérales et énergétiques? Sont-ils de simples tendances ou des atouts pour le développement de ces domaines? À l'ère de la science des données, comment se positionnent ces technologies? L'idée de cette conférence est de montrer au moyen d'exemples de projets concrets en cours au Centre de recherche en données et intelligence géospatiales (CRDIG, anc. le Centre de recherche en géomatique) de l'Université Laval, comment le mariage de ces technologies permet de relever de nouveaux défis et de dégager de nouveaux avantages compétitifs dans le domaine des ressources minérales et énergétiques.

## SÉANCE 8

### **Exploration vs exploitation : l'apprentissage de modèles pour l'optimisation et la prise de décisions**

**Christian Gagné (UL)**

Le compromis entre l'exploration et l'exploitation est au centre des approches d'apprentissage par renforcement et d'optimisation en ligne. Il consiste à déterminer si l'on doit exploiter la connaissance actuelle pour la prochaine décision ou explorer de nouvelles décisions pour découvrir de la connaissance et, par conséquent, améliorer les performances. Ceci est utile lorsqu'on se sert d'approches effectuant une modélisation dynamique du problème auquel on s'attaque.

Après un survol de différentes techniques d'optimisation basée sur le compromis exploration vs exploitation, des applications concrètes de celles-ci seront présentées, en particulier pour l'automatisation du choix des hyperparamètres d'algorithmes d'apprentissage et l'automatisation de la microscopie à super-résolution. Une analogie avec des processus de prospection minière sera également effectuée pour illustrer le fonctionnement de l'approche et son utilisation potentielle.

## SÉANCE 8

### Aborder le virage numérique : l'exemple du secteur manufacturier et panorama des transformations dans ce secteur

**Jonathan Gaudreault (UL)**

Le tsunami numérique engendre une profonde transformation de l'économie mondiale. Les pays qui se démarqueront seront ceux ayant développé des avantages compétitifs autres qu'une main-d'œuvre abordable. La révolution « Industrie 4.0 » amorcée en Allemagne, et à laquelle se joignent l'un après l'autre les pays de l'OCDE, est un pas dans cette direction. Cette conférence vous permettra de constater comment notre secteur manufacturier s'ajuste à cette nouvelle réalité grâce aux données massives et à l'intelligence artificielle : systèmes de production agiles et reconfigurables; acquisition de données pour l'autodiagnostic; prise de décision automatisée... tant de perspectives formidables pour notre société et nos entreprises!

## SÉANCE 8

### Vers la conception de véhicules autonomes adaptés aux conditions hivernales

**François Pomerleau (UL)**

La recherche en robotique mobile a connu des percées fulgurantes au courant des dernières années, menant à d'importantes innovations technologiques. Par exemple, les médias font de plus en plus écho des avancées au niveau des voitures autonomes, faisant miroiter un futur tantôt utopique, tantôt dystopique. Ce qui est clair, c'est que ces innovations bouleversent déjà le domaine du transport et les activités industrielles nécessitant le déplacement de marchandises et de personnes. Le Québec, et tout particulièrement ses régions minières, fait face à des conditions climatiques difficiles limitant l'utilisation de véhicules autonomes. Il est donc important de développer des solutions de navigation plus robustes aux perturbations causées par l'environnement.

Cette conférence a pour objectifs 1) de contextualiser les défis de la conception de véhicules autonomes, en mettant l'accent sur les aspects liés à la perception de l'environnement, et 2) de présenter l'expertise de recherche du Norlab, le nouveau laboratoire de robotique boréale de l'Université Laval.

Plus précisément, nous verrons les défis généraux de la localisation et de la cartographie. Nous en profiterons pour divulguer quelques résultats de recherche récemment obtenus tels que la cartographie automatisée de grandes surfaces et de souterrains, la détection d'éléments dynamiques, la quantification du bruit provenant de capteurs, etc. Nous aborderons aussi les prochains défis stimulants que le laboratoire s'est fixé afin d'améliorer les véhicules autonomes et de les rendre stables en conditions hivernales.

## SÉANCE 9

### À la recherche d'un équilibre : entreprises autochtones, environnement et mines

**Peter Vanriel (Canada North Environmental Services)**

Fondée en 1981, Kitsaki Management est responsable des activités de développement économique à but lucratif de la bande indienne de Lac La Ronge. La société investit dans plusieurs secteurs, notamment : le transport, la construction de routes, l'assurance, l'environnement, l'hébergement hôtelier, les mines et l'agriculture. Elle mise sur des entreprises viables à long terme.

L'une des entreprises du groupe Kitsaki, Canada North Environmental Services (CanNorth), offre des services de qualité en matière d'environnement, de gestion des risques et de patrimoine à une vaste gamme de clients du secteur minier, y compris à certaines des plus grandes sociétés minières au monde. Fondée en 1997, CanNorth maximise l'implication des communautés autochtones dans les projets, notamment par l'intégration des savoirs traditionnels, l'embauche de résidents locaux dans des programmes environnementaux et la création d'emplois et d'opportunités de formation.

L'entreprise offre aussi des services spécialisés pour faciliter la communication et tisser des liens de confiance avec les communautés et les groupes autochtones dans le cadre de projets de développement minier. CanNorth a pris le pouls et engagé des consultations auprès de communautés et de groupes autochtones, tant au pays qu'à l'international. L'entreprise conçoit et gère des programmes de suivi communautaire, tient des consultations publiques, offre des opportunités de formation et d'emploi et peut aussi jouer un rôle de conseiller technique. Voici quelques exemples de programmes communautaires : le programme de suivi environnemental communautaire (*Community Based Environmental Monitoring Program* ou CBEMP) de la région du bassin d'Athabasca dans le nord de la Saskatchewan et le programme de suivi régional de l'Est de l'Athabasca (*Eastern Athabasca Regional Monitoring Program* ou EARMP).

Une autre spécialité de CanNorth est la réalisation de programmes de recherche visant à évaluer la consommation et la sécurité des aliments traditionnels. Ces programmes comprennent des entrevues avec des membres des communautés afin de recueillir de l'information sur les types d'aliments sauvages locaux, les quantités consommées et les endroits où ces aliments sont récoltés. Les résultats des entrevues sont utilisés pour établir un programme d'échantillonnage dans le cadre duquel les aliments traditionnels du secteur sont récoltés et soumis à une analyse chimique. Les résultats de la recherche sont soumis aux membres des communautés par l'entremise de rapports écrits, de présentations orales et de discussions lors d'assemblées publiques. CanNorth a réalisé des études sur les aliments sauvages pour des sociétés minières, des agences gouvernementales et plusieurs communautés autochtones. Quelques programmes communautaires en milieu autochtone seront aussi abordés en détail.

## SÉANCE 9

### Nouvelles approches pour les perspectives commerciales via des partenariats locaux au Nunavut : au-delà des ententes sur les répercussions et les avantages

**Suzanne Leclair (Mines Agnico Eagle)**

Agnico Eagle est une société minière aurifère canadienne bien établie qui exploite huit mines situées au Canada (au Nunavut et au Québec), en Finlande et au Mexique. Agnico Eagle emploie plus de 9 000 personnes à travers le monde. L'entreprise a ciblé le Nunavut comme future plate-forme stratégique ayant un grand potentiel d'investissement à long terme. Elle exploite actuellement la mine Meadowbank, près de Baker Lake, et a presque mené à terme le projet aurifère Meliadine près de Rankin Inlet. De plus, Agnico Eagle a terminé récemment le processus d'obtention des permis pour le gisement Whale Tail, situé au nord de la mine Meadowbank. Tous ces projets se trouvent dans la région de Kivalliq.

L'exploitation minière au Nunavut ne peut aller de l'avant sans qu'une entente sur les répercussions et les avantages pour les Inuits (ERAI) ait été négociée avec l'association régionale inuite. Agnico Eagle a conclu trois ententes du genre, qui comprennent un cadre de référence détaillé pour les appels d'offres et l'attribution de contrats. Ce cadre de référence a pour but de promouvoir et de soutenir le développement économique durable au profit du plus grand nombre d'Inuits, la priorité étant accordée aux communautés affectées. Les communautés affectées par nos activités sont Rankin Inlet, Baker Lake et Chesterfield Inlet. Au troisième trimestre de 2018, Agnico Eagle a dépensé plus de 180 millions de dollars auprès de firmes inuites, ce qui représente près de 50 % des dépenses totales à Meliadine et près de 63 % à Meadowbank.

Cette présentation passera en revue les éléments suivants :

- Le processus de préqualification;
- Le processus d'appel d'offres;
- Le système de points de préférence;
- Les contrats privilégiés.

La présentation abordera également les défis et la façon dont les communautés et les gouvernements réagissent pour aider à créer des opportunités. Nous examinerons les approches innovatrices utilisées pour relever les défis liés aux infrastructures et aux émissions de carbone. Plus spécifiquement, nous décrirons une approche dans le cadre de laquelle le financement de démarrage d'Agnico Eagle et sa collaboration dans les créneaux d'excellence au Québec permettent de soutenir une coopérative de travailleurs qui vise à transformer la façon dont les habitations sont conçues et fournies par l'entremise d'une chaîne d'approvisionnement ouverte. Nous décrirons également une autre occasion d'affaires qui aidera Agnico Eagle à réduire ses émissions de carbone en faisant équipe avec son fournisseur inuit local pour examiner des technologies innovantes pour l'Arctique.

## SÉANCE 9

### Services miniers Tawich – Vision et défis

#### Dennis Georgekish (Tawich Development)

**Wemindji Exploration Services**, une filiale du **Tawich Mining Services Group**, a été fondé en 2000 dans le but de former nos gens en prospection et en jalonnement de claims. Depuis, nous avons commencé à prendre nos propres claims et à réaliser des travaux d'exploration dans les secteurs entourant notre communauté. Nous avons aussi démarré des projets en coentreprise, y compris un projet d'exploration pour le diamant avec le découvreur de la première mine de diamants au Canada. En outre, un gisement d'or a été découvert sur notre territoire, la mine Éléonore.

La découverte de ce gisement a débouché sur plusieurs occasions d'affaires pour le groupe Tawich (**Tawich Development Corporation** ou TDC), la société de développement de notre communauté. La mission de la TDC depuis sa création en 1987 est de promouvoir et de favoriser la santé sociale et économique de la communauté par l'entremise du développement et de la création d'entreprises, de commerces locaux et d'emplois.

De nos jours, la TDC compte une vingtaine d'entreprises qui offrent des services à l'industrie minière, notamment :

**Tawich Construction-Redpath**, un entrepreneur minier qui a participé à la construction de la mine Éléonore et qui offre aussi des services de concassage de roches et de location de machinerie.

**Wolf Camp Corporation** offre des services de traicteur et de conciergerie dont le principal client est la mine Éléonore.

**Syneer Drilling** est une alliance avec Machines Roger pour du forage en surface et sous terre. En plus du forage souterrain à la mine Éléonore, elle offre des services de forage en surface aux sociétés minières qui explorent à la Baie-James.

**Petronor** vend du carburant en vrac ou en barils, à des fins commerciales, industrielles, résidentielles ou pour l'aviation, en respect des enjeux environnementaux associés aux activités dans un secteur à haut risque.

**Kepa Transport** offre des services de transport réguliers et fiables qui ne se limitent pas à la Baie-James puisque notre flotte est au Québec, en Ontario et dans l'Ouest canadien.

**VCC Construction** offre des services de construction résidentielle, industrielle, institutionnelle et commerciale.

**Tawich Distribution** a un magasin à Radisson. Il fournit des produits pour le secteur minier et forestier, pour la mécanique, pour la sécurité et pour la chasse et le plein air. Il peut fournir de l'équipement de sécurité, des outils, des pièces automobiles et industrielles et des services sur place.

**Wemindji Paving** a des usines d'asphalte mobiles, de l'équipement de pavage, de concassage et de criblage, une centrale à béton ainsi que des chargeuses et des rétrochargeuses. Il offre des services de pavage en asphalte et de travaux routiers (routes, bordures de route, trottoirs et autres infrastructures municipales).

**Eeyou Lumberjack** réalise des travaux de foresterie de toutes sortes comme le tronçonnage et la construction de chemins forestiers.

**Wemex Services** est une société qui favorise la sensibilisation des communautés et facilite la création de projets en partenariat avec des sociétés explorant à la Baie-James ainsi que les opportunités d'investissement. Il offre des services à l'industrie en aidant les sociétés en matière de relations communautaires et, dans le cadre des processus de consultation, en améliorant les outils des entreprises pour répondre aux attentes des communautés locales de même qu'en les accompagnant dans le processus de dialogue, la divulgation d'information, les cours d'exploitation minière 101 pour les communautés et l'aide aux projets de développement économique liés aux phases d'exploration minérale et de mise en valeur.

## SÉANCE 9

### Miser sur les droits : les arguments économiques pour la reconnaissance des droits autochtones

#### Abel Bosum (Grand Conseil des Cris)

En faisant un survol de l'histoire de la Nation crie d'Eeyou Istchee (Nord-du-Québec) au cours des quarante-cinq dernières années, M. Bosum décrit l'évolution et le développement politique de cette jeune nation autochtone. Partant d'une époque où la notion de droits autochtones était essentiellement une formule creuse, la Nation crie a mis en place tous les éléments essentiels à l'édification d'une nation autochtone et a jeté les bases d'un avenir sain et prospère pour les Premières Nations qui composent cette collectivité autochtone émergente. En ancrant ses actions politiques dans les droits fondamentaux de la personne, les droits autochtones et les droits issus des traités, la Nation crie est maintenant en voie de devenir la force politique et économique dominante sur son territoire traditionnel et de travailler avec l'industrie dans des conditions plus égalitaires, assurant ainsi une approche plus ordonnée et efficace en matière de développement des ressources. En parallèle, une forme unique de gouvernance régionale a été établie, laquelle appelle à la collaboration et à la coopération entre les Premières Nations cries et les communautés avoisinantes non autochtones comme façon d'aborder les enjeux et les intérêts communs.

## SÉANCE 10

### Mine du futur : mythes et réalités

François Vézina (Redevances aurifères Osisko)

La mine du futur est sans aucun doute un des sujets les plus en vogue par les temps qui courent dans l'industrie minière. Nul doute que notre industrie est en profonde réflexion sur les solutions à envisager pour résoudre les problèmes actuels : Mine 4.0, automatisation, téléopération, intelligence artificielle, machine autonome, robot, électrification, « cloud », apprentissage machine, LTE, numérisation, drone, etc. Malgré les succès de l'implantation de plusieurs de ces technologies, et des gains réalisés, l'industrie minière hésite à intégrer ces avancées technologiques. Il existe beaucoup de confusion sur ce que devrait être la MINE DU FUTUR et l'approche à privilégier pour y accéder.

La réalité est que notre industrie fait face à plusieurs défis de taille :

- Raréfaction des gisements à haute teneur et augmentation de l'exploitation de gisements à faible teneur;
- Environnements d'exploitation de plus en plus difficiles (profondeur, altitude, chaleur, froid, pénurie ou surabondance d'eau);
- Pénurie de main-d'œuvre qualifiée;
- Augmentation des exigences environnementales;
- Perception de l'industrie minière et acceptabilité sociale.

Les solutions sont peu nombreuses, ce qui va forcer notre industrie à se réinventer à court terme : « *Necessity is the mother of invention* ». La situation n'est pas alarmante. Chaque exploitant doit réfléchir à ses orientations et créer sa propre version de mine de la prochaine génération. Cette réflexion va au-delà de l'implantation de technologies et doit inclure de nouvelles méthodes d'extraction du minerai. La MINE DU FUTUR peut avoir plusieurs déclinaisons.

Concevoir la MINE DU FUTUR est beaucoup complexe que de choisir entre des équipements diesel ou électrique, d'automatiser ou d'utiliser des machines autonomes, ou encore d'utiliser l'intelligence artificielle dans les salles de contrôle. Il s'agit de former une toute nouvelle génération de professionnels et de spécialistes miniers, d'adapter la réglementation ou de la modifier, mais surtout de changer les paradigmes traditionnels de notre industrie.

## SÉANCE 10

### La kimberlite et les défis d'une exploitation souterraine; l'expérience de Stornoway

Guy Bourque, David Langlois (Stornoway)

En 2010, l'étude de faisabilité de la mine Renard est lancée. En 2014, l'excavation du portail de la mine souterraine a débuté. En 2016, les premières tonnes de minerai sont extraites sous terre. Depuis, bien des choses ont changé. Retour sur les différents défis auxquels Stornoway a fait face et sur les solutions innovantes mises en place afin d'arriver à ce qu'est la mine Renard aujourd'hui.

## SÉANCE 10

### Système d'exploitation à faible pendage (*Shallow Angle Mining System ou SAMS™*) à la mine Lamaque

**Marc R. Beauvais (Minrail), Félix Normand (Eldorado Gold)**

Fort de l'expérience acquise lors des essais réalisés à la mine Beaufor en 2017, Minrail s'est engagé dans un processus de révision et de mise à niveau des composantes de son système, notamment en ajoutant des équipements de forage entièrement hydraulique et en augmentant la capacité générale de ses composantes. De plus, l'ajout d'un poste de travail distant permet au SAMS™ de franchir le pas vers le concept de la mine 4.0.

Eldorado Gold a manifesté un intérêt particulier pour la technologie du SAMS™, en remplacement de la méthode d'exploitation prévue dans les zones minéralisées à faible pendage (~35°) à son projet Lamaque, à Val-d'Or. En effet, la méthode d'exploitation conventionnelle par chambres et piliers n'offre pas un haut niveau de productivité et ne cadre pas avec les standards élevés en matière de sécurité de la société. Eldorado Gold a entrepris un programme d'essais à la mine Lamaque afin de tester la technologie du SAMS™ à grande échelle. Ainsi, environ 40 000 tonnes de minerai seront exploitées à partir de trois niveaux situés dans la zone C2 au cours de l'année 2019. Les gains anticipés se trouvent du côté de la sécurité, de la productivité, du contrôle de la dilution et du développement des accès.

Au printemps 2019, le programme d'essais sera concentré dans un secteur de la mine ne faisant pas partie des réserves, pour limiter l'impact des activités et des risques liés aux essais sur le budget d'exploitation de la mine. Si les résultats sont concluants, il sera plus facile de mettre en valeur des zones présentement problématiques et d'ajouter des réserves au projet.

## SÉANCE 10

### Projet Meliadine : défis liés au développement minier en territoire nordique

**Martin Plante (Mines Agnico-Eagle)**

La construction du projet Meliadine, situé près de la ville de Rankin Inlet au Nunavut, progresse et les activités minières débuteront en 2019. La présentation abordera les défis spécifiques au développement minier en territoire nordique ainsi que l'approche utilisée par l'équipe en place.

## SÉANCE 10

### Camion automatisé et télémétrie

Jocelyn Raymond (Hecla Québec)

Présentation des bons et mauvais coups lors de l'introduction du camion automatisé à la mine Casa Berardi d'Hecla Québec :

- implantation des camions avec le fournisseur Sandvik, aménagement de la salle de contrôle et formation des opérateurs;
- implantation de la télémétrie dans les opérations sous terre et formation des opérateurs de la salle de contrôle.

## SÉANCE 11

### SIGÉOM : d'hier à demain.

Charles Roy (MERN, retraité)

Hier. Le SIGÉOM est le résultat d'un long processus qui se mariait avec les changements ayant eu lieu dans l'environnement industriel et social, plus spécifiquement dans le monde des technologies informatiques et des communications. L'accroissement des données produites, le contrôle de qualité de celles-ci, le cycle de mise à jour, l'arrivée d'Internet et des réseaux sociaux ont conditionné le développement du SIGÉOM. Demain verra l'intensification de l'utilisation d'algorithmes et de l'intelligence artificielle pour traiter cette somme colossale d'information, une évolution qui s'inscrit dans la démarche suivie par d'autres domaines comme les mathématiques, la physique et l'informatique.

## SÉANCE 11

### Détection et prédiction de la signature des gîtes d'or de type orogénique : comparaison des résultats de la logique bayésienne (Hypercube) et du poids des évidences (WofE)

Clément Dombrowsky (IOS), Paulo Ferrera (BearingPoint),  
Éric Larouche (Goldcorp Canada)

La prédiction d'un gîte minéral à partir d'une base de données géoscientifiques régionales est un processus complexe. Les informations disponibles reliées à un gîte minéral qui n'a pas encore été découvert sont souvent partielles, distales et hétérogènes, ce qui le rend difficile à reconnaître. Cette étude utilise un ensemble de 113 zones minéralisées situées dans la région de la Baie-James, dans le Nord-du-Québec, toutes cataloguées comme gîtes d'or de type orogénique. La base de données extraite du SIGÉOM ne comprenait que des données ayant une couverture régionale (carte géologique, affleurements et lithofaciès au niveau des collets de forage, géochimie des sédiments lacustres, analyses de roches de levés régionaux et levés géophysiques régionaux). Certaines relations géographiques entre les données, telles que la distance aux failles, ont été extraites à l'aide d'un système SIG classique et ajoutées à la base de données en tant que variables indépendantes. L'ensemble des 113 gîtes a été aléatoirement scindé en deux moitiés, la première servant à l'apprentissage et la deuxième à la prédiction. Le processus d'apprentissage effectué à l'aide d'HyperCube, un système d'intelligence artificielle basé sur la logique bayésienne, a été en mesure de prédire les gîtes cachés, avec un taux de rappel atteignant 95 %. Le système s'est avéré plus efficace dans la prédiction de gîtes cachés qu'un système plus supervisé et a permis de traiter une grande quantité de données très rapidement.

## SÉANCE 11

### Utilisation des forêts aléatoires (*random forest*) pour l'estimation des éléments chimiques en exploration

Nathalie Schnitzler (Ressources Sirios), Erwan Gloaguen,  
Pierre-Simon Ross (INRS-ETE)

L'étude des carottes de forage est souvent limitée à la description visuelle faite par les géologues et aux analyses de quelques métaux dans les zones minéralisées ou potentiellement minéralisées. L'acquisition non destructive et l'intégration de mesures à haute résolution spatiale des propriétés physiques, chimiques et minéralogiques permettraient de mieux connaître les gisements, les roches et l'altération.

Le Laboratoire mobile de caractérisation physique, minéralogique et chimique des roches (LAMROC) de l'INRS a été conçu pour déterminer la densité, la susceptibilité magnétique, les éléments chimiques et la minéralogie, en plus de prendre une image de la carotte. La quantité importante de mesures localisées générées par le LAMROC nécessite des analyses statistiques multivariées telles que l'apprentissage automatique (*machine learning*). L'approche proposée ici est celle des « forêts aléatoires » (*random forest*). Cet algorithme est efficace pour l'estimation d'éléments chimiques, tant du point de vue de la précision de la prédiction que pour le choix des variables (paramètres multivariés). Des tests faits sur différents jeux de données (géochimie traditionnelle vs LAMROC) montrent que l'algorithme des forêts aléatoires est adapté à la sélection des variables explicatives utilisées pour la prédiction en fonction du jeu de données.

Les outils technologiques facilitent l'interprétation des données, en garantissant une bonne résolution spatiale grâce aux nombreuses données récoltées avec le LAMROC.

## SÉANCE 11

### L'utilisation des algorithmes de regroupement et des cartes auto-adaptives pour des données géochimiques d'altération

Jean-Philippe Paiement (Mira Geoscience)

Les données géochimiques sont utilisées depuis longtemps dans l'analyse et la cartographie des altérations en exploration minière. La reconnaissance des différents schémas d'altérations liés aux systèmes minéralisateurs a recours, la plupart du temps, à des méthodes basées sur des relations de corrélation entre deux éléments ou entre des rapports d'éléments chimiques. Ces corrélations se font généralement sur des nuages de point dans des graphiques en deux dimensions, ce qui engendre une perte d'information liée à la composition globale des roches ainsi que des changements subtils de certaines concentrations des éléments qui ne sont pas représentés dans le nuage de point. L'utilisation des rapports d'éléments peut aussi entraîner de fausse corrélation lorsque l'on considère des rapports basés sur les mêmes éléments chimiques (Lowey, 2015). De même, l'utilisation des corrélations générales observées à l'échelle d'un ou de quelques gisements manque généralement de flexibilité quant aux compositions initiales des roches sources et des altérations résultantes dans des environnements différents.

L'utilisation d'algorithmes de classification automatique comme le *K-mean clustering* et les *Self Organizing Maps* (SOM) permet de tenir compte des relations multidimensionnelles entre les différents éléments géochimiques, augmentant ainsi la résolution des corrélations et des distributions choisies pour l'interprétation des altérations. Le *K-mean clustering* utilise une quantification vectorielle de la distance de chaque échantillon par rapport à la valeur moyenne des groupes établis. Le résultat produit un partitionnement de l'espace de données (n dimension : selon le nombre d'éléments chimiques utilisés) en cellules de Voronoï. Quant aux SOM, elles constituent un type de réseau de neurones artificiels construit par apprentissage non supervisé qui produit une division topologique (carte) de l'espace de données. Cette carte constitue une méthode de réduction de la dimensionnalité des données et permet une interprétation simplifiée des variations multidimensionnelles.

Il est important de bien cerner les entrants d'un point de vue géochimique et géologique, car l'application aveugle de ces algorithmes de regroupement peut entraîner des résultats erronés ou inutilisables. L'utilisation de données géochimiques demande d'abord une compréhension de la mobilité des éléments lors des processus d'altération ainsi que de la distribution de ceux-ci dans les différentes unités géologiques. Les exemples donnés lors de cette présentation démontrent une méthode de travail pour l'interprétation des schémas d'altérations liés à différents types de gîte au moyen d'un plus grand nombre d'éléments chimiques. Les interprétations sont basées sur des environnements connus afin de valider la méthodologie, mais ont été générées à partir d'une interprétation aveugle, comme dans un environnement non exploré.

Lowey, Grant W. Element/Aluminum Ratios in Chemostratigraphy: A dubious Normalization Resulting in Spurious Correlations. Abstract in GeoConvention 2015. May 2015.

## SÉANCE 11

### ARTPhot et ARTMorph : routines de reconnaissance automatisée des grains d'or détritiques et de leur morphologie

Alexandre Néron, Jonathan Tremblay, Réjean Girard (IOS)

L'exploration minérale se fait, en partie, à partir d'observations visuelles. Aussi importantes que soient ces informations, il y a trop souvent un risque élevé d'erreur sur ces données. En effet, la qualité des données dépend non seulement de l'expérience, de la compétence, de la fatigue et de l'humeur du professionnel, mais également de différents facteurs liés à l'environnement de travail. Plusieurs systèmes d'imagerie automatisés sont disponibles sur le marché, et ce, à plusieurs échelles (du micron à l'affleurement); ils nous permettent d'obtenir des données quantitatives et reproductibles. Puisque la classification d'images par l'apprentissage profond est l'un des domaines les plus prolifiques actuellement dans le secteur de l'intelligence artificielle, l'application de ces techniques au domaine de l'exploration minérale est dans l'ordre des choses.

Deux exemples d'applications de la classification d'images par intelligence artificielle seront présentés. Ils sont reliés à la caractérisation des grains d'or dans les tills, soit 1) le comptage automatisé des grains au moyen des images numériques provenant d'un microscope connecté à un microscope électronique à balayage, soit 2) la caractérisation morphologique des grains d'or à partir d'images en électrons rétrodiffusés afin d'établir l'environnement probable de cristallisation de l'or. L'accent sera mis sur les particularités et les solutions choisies aux problèmes rencontrés lors de l'application de méthodes d'intelligence artificielle pour la classification d'images de matériau dans le domaine de la géologie.

## SÉANCE 11

### L'apprentissage automatique appliqué à la géophysique en forage : un outil d'interprétation quantitatif en exploration minière

Martin Blouin, Lorenzo Perozzi (Geolearn),  
Antoine Caté (SRK Consulting)

Les coûts de l'exploration minière et les risques (incertitudes) associés n'ont cessé d'augmenter au cours des dernières années. En effet, comme la majorité des cibles près de la surface ont été détectées, les découvertes sont de plus en plus profondes, alors que d'autres se trouvent dans des environnements géologiques plus complexes. Elles sont aussi moins fréquentes dans les camps miniers matures qui arrivent à la fin de leur cycle de production. Il devient impératif de se tourner vers les nouvelles technologies en matière d'acquisition, de traitement et d'interprétation de l'information pertinente en exploration minière.

D'importants progrès ont été réalisés dans ce domaine pour offrir de nouveaux outils d'acquisition de données basés sur des principes liés à la géochimie et à la géophysique. Certes, ils fournissent des mesures quantitatives et robustes, mais souvent en grand nombre et en déclinaisons trop importantes pour être analysées par un être humain. De nouvelles méthodes sont donc nécessaires pour intégrer et interpréter ces données et exploiter leur plein potentiel.

L'apprentissage automatique (*machine learning*) regroupe plusieurs méthodes et algorithmes basés sur des approches statistiques qui permettent de générer des modèles prédictifs à partir des données disponibles. Depuis 2015, des progrès fulgurants en rapidité de calcul et la disponibilité de bibliothèques d'algorithmes performants ont rendu son utilisation accessible, et souhaitable. Les modèles générés par apprentissage automatique permettent de tenir compte d'informations de haute dimension (plusieurs variables) et de générer des relations plus complexes.

Dans le cadre de ce projet, plusieurs de ces méthodes ont été utilisées et comparées dans le but d'extraire de l'information des données de diagraphies géophysiques en vue de la caractérisation d'un gisement minier. Par l'utilisation combinée des données de diagraphies et de l'apprentissage automatique, les résultats obtenus (précision, récupération) sont significativement meilleurs. De plus, l'exploitation de ces données génère de l'information à haute résolution et en continu, tout en diminuant le biais humain. En plus de prédire adéquatement les intervalles minéralisés, la méthodologie proposée a un potentiel quant à l'interprétation du type de roches, à la caractérisation de l'altération hydrothermale et à l'estimation de vecteurs d'exploration.

## SÉANCE 11

### Vers une reconnaissance automatisée des phases minérales par imagerie optique

Kevin Bouchard, Julien Maître, Paul Bédard (UQAC)

L'identification et le dénombrement des grains de minéraux dans le sable constituent un élément important de nombreuses études dans les domaines de l'exploration minière, du traitement du minerai et de la géoméallurgie. En règle générale, les grains sont caractérisés au microscope optique ou au microscope électronique à balayage. Dans les deux cas, l'identification et le dénombrement sont fastidieux et coûteux. Nous proposons une approche computationnelle originale afin d'automatiser la reconnaissance des minéraux à partir d'images numériques obtenues avec un simple microscope optique.

Dans le cadre de cette présentation, nous expliquerons les fondements en intelligence artificielle qui nous ont permis d'accomplir la tâche de classification automatique de grains. Plus spécifiquement, nous parlerons des diverses étapes du processus, de la capture d'images jusqu'à l'apprentissage automatique, y compris le traitement de base (segmentation, extraction de caractéristiques et nettoyage de données). Environ 90 % des identifications réalisées sont correctes. Les résultats obtenus grâce à cette nouvelle approche démontrent la facilité d'utilisation des concepts de reconnaissance des minéraux à partir d'une image numérique d'un échantillon de grains de sable.

## SÉANCE 11

### L'apprentissage profond comme outil de traitement de données sismiques

**Gabriel Fabien-Ouellet (Polytechnique)**

Le traitement des données sismiques est une tâche laborieuse qui nécessite une grande expertise. Ceci freine de nombreuses applications hors du contexte usuel pétrolier, car le traitement demeure coûteux et l'expertise propre à chaque milieu est parfois rare, voire inexistante, notamment dans le domaine minier. Les avancées en intelligence artificielle, plus particulièrement en apprentissage profond, ont le potentiel d'alléger considérablement le travail du géophysicien lors du traitement des données sismiques, sans bien sûr le remplacer. Dans cette présentation, nous montrerons comment les réseaux de neurones profonds peuvent remplacer certaines étapes du traitement des données sismiques. En particulier, nous nous attarderons à l'analyse de vitesse, un processus complexe représentant une part significative, en temps et en effort, de la séquence de traitement. Nous montrerons comment cette étape peut être automatisée à l'aide d'un réseau convolutif profond et d'un réseau neuronal récurrent. Les réseaux de neurones convolutifs permettent de construire une représentation abstraite d'un regroupement de traces sismiques, tandis que les cellules récurrentes permettent de produire un modèle de vitesse cohérent à partir d'une séquence temporelle de réflexions. Nous montrerons les liens entre cette architecture et la traditionnelle analyse de semblance. Le réseau que nous proposons permet d'obtenir automatiquement les vitesses de sommation et d'intervalle, et ce, directement à partir des données brutes. Notre réseau est aussi capable d'identifier les réflexions primaires et est robuste à la présence de multiples. Ces premiers pas laissent entrevoir que la production d'un modèle de vitesses sismiques peut être automatisée, ou à tout le moins guidée, par les réseaux de neurones profonds.

## SÉANCE 11

### Risque géotechnique dans les mines souterraines : une approche par apprentissage automatique

**Lorenzo Perozzi, Erwan Gloaguen (INRS-ETE),  
Valérie Laflèche, John McGaughey (Mira Geosciences)**

Un flux de travail (*workflow*) intégrant des données microsismiques passives a été développé pour évaluer les risques géotechniques dans les mines de très grande profondeur, au moyen d'une approche d'apprentissage automatique. Le flux de travail a été appliqué à la mine Nickel Rim South de Glencore, située près de Sudbury en Ontario.

L'objectif était d'étendre l'analyse des risques géotechniques à une intégration multidisciplinaire des données issues de divers domaines : géologie, structure, caractérisation de la masse rocheuse, infrastructure minière, support, stress, microsismique passive et autres instruments de surveillance géotechnique.

Tout d'abord, un nettoyage et une analyse exploratoire de la base de données ont été réalisés pour trouver et éventuellement remplacer les données incomplètes, incorrectes ou non pertinentes. De nouveaux attributs ont été calculés afin d'augmenter le pouvoir prédictif des algorithmes utilisés.

Ensuite, un flux de travail pour la prévision du danger des risques géotechniques a été proposé pour entraîner et optimiser un algorithme d'ensemble d'arbres décisionnels. Cette étape est fondamentale afin de développer un modèle capable de fournir des règles générales sur la prévision du risque géotechnique.

Enfin, une analyse de l'importance des attributs a permis de mieux comprendre les caractéristiques qui ont plus ou moins d'impact sur le modèle prédictif.

Finalement, pour augmenter le pouvoir prédictif du modèle, il est suggéré d'augmenter la quantité de données pour entraîner les algorithmes et d'utiliser plus spécifiquement les données microsismiques passives brutes.

## SÉANCE 12

### Mine de rien : des relations harmonieuses au cœur de la prévisibilité économique

**Ghislain Picard (chef de l'Assemblée des Premières Nations du Québec et du Labrador)**

L'arrivée au pouvoir d'un nouveau gouvernement déclenche momentanément l'espoir d'une relation politique rigoureuse et respectueuse avec les Premières Nations, c'est-à-dire une véritable relation de gouvernement à gouvernement, d'autant plus dans un cadre de gouvernement majoritaire qui, historiquement, n'a pas encore tenu les rênes du pouvoir. C'est dans cet esprit que l'Assemblée des Premières Nations Québec-Labrador (APNQL) a, encore une fois, pris action pour mettre la table des conditions gagnantes avec le gouvernement de la Coalition avenir Québec, élu avec une majorité le 1<sup>er</sup> octobre dernier.

Or, pour l'ensemble des questions et des enjeux qui préoccupent les Premières Nations, cette certitude est loin d'être assumée, encore moins acquise ou confirmée. Nos réalités et nos enjeux souffrent d'un manque de considérations flagrant et les chefs de l'APNQL ont toutes les raisons de demeurer extrêmement vigilants sur les gestes que posera le Gouvernement du Québec, et surtout sur les décisions qui seront prises ayant un impact sur la situation de nos communautés et de nos populations.

Pour ajouter au contexte politique, nous héritons d'un règne libéral qui s'est étendu sur les quinze dernières années, avec le passage momentané d'un gouvernement minoritaire du Parti québécois. Malgré les tentatives de rapprochement lors de ce chapitre éphémère de l'histoire récente, force est de constater que l'instabilité politique aura rapidement eu raison de ce gouvernement. Par conséquent, une relation politique à la hauteur de nos attentes et de nos besoins n'est toujours pas au rendez-vous et demeure au cœur des préoccupations exprimées par la Table des chefs de l'APNQL.

Au niveau fédéral, malgré les vœux de promouvoir une réconciliation sociale et politique, les nombreuses transformations proposées dans toutes les sphères de nos sociétés, y compris les dispositions relatives à l'exploitation des ressources et à l'environnement, ne nous permettent pas de répondre à cet idéal politique. Les tentatives de changer des décennies de colonialisme et d'inscrire ces transformations dans un seul mandat électoral de quatre années constituent une ambition que nous jugeons utopique. Pour bien faire les choses, le gouvernement fédéral devrait tenir compte d'un rythme de travail respectueux et favoriser un véritable codéveloppement.

Notre proposition n'est pas nouvelle. Elle s'exerce systématiquement dès l'entrée en scène d'un nouveau gouvernement, qu'il soit fédéral ou provincial. Dans les limites de notre ordre qui met chaque communauté au cœur des démarches en fonction des priorités propres à leur contexte local, l'APNQL a la responsabilité de promouvoir les conditions gagnantes pour une relation politique respectueuse qui reconnaît les acquis politiques, constitutionnels et juridiques. Une relation politique gagnante n'échappe pas aux conditions essentielles et fondamentales de reconnaissance et de respect de nos droits ancestraux, du titre et de nos droits issus de traités. Le domaine minier n'en fait pas exception.

## SÉANCE 12

### Protection de l'environnement et de la culture autochtone dans les ERA : l'importance de former des partenariats entre promoteurs et communautés des Premières Nations

**Olivier Courtemanche (Institut de développement durable des Premières Nations du Québec et du Labrador)**

Cette présentation explore certaines modalités destinées à la protection de l'environnement et de la culture autochtone que l'on trouve dans les ententes concernant les projets d'exploration et d'exploitation des ressources naturelles, notamment les ententes négociées entre les promoteurs miniers et les Premières Nations. Par l'entremise d'exemples récents, la présentation permettra d'exposer le contenu de telles ententes, les mécanismes menant à l'élaboration de ces dispositions et des initiatives particulières et innovantes, en plus de commenter le rôle que reçoivent les Premières Nations dans la protection environnementale de leurs territoires ancestraux.

## SÉANCE 12

### Comment les Premières Nations peuvent relancer leur propre économie

Shaun Loney

Les problèmes tels que la prise en charge des enfants, le traitement du diabète, l'incarcération et l'itinérance sont extrêmement coûteux. Les Premières Nations connaissent les solutions, mais elles sont contraintes à soumettre des demandes de financement pour les mettre en application. Or, la nourriture pourrait être produite localement, des sources d'énergies renouvelables pourraient être développées et des entreprises sociales pourraient être mises en place pour répondre aux besoins locaux, et ce, tout en créant des emplois pour la population. Découvrez pourquoi le financement s'avère un outil colonial et ce qui est sur le point de le remplacer.

## SÉANCE 13

### Systèmes hydrothermaux riches en or sur le fond marin

John W. Jamieson (MUN), Mark D. Hannington (Univ. d'Ottawa et GEOMAR), Amy Gartman (USGS)

L'exploration de systèmes hydrothermaux actifs sur le fond marin présente une occasion unique et précieuse d'observer directement les processus minéralisateurs responsables de la formation des gîtes de sulfures massifs volcanogènes (SMV) et de les échantillonner. Jusqu'à présent, plus de 200 systèmes hydrothermaux minéralisés (sulfures massifs) ont été découverts sur le fond marin, et ce, dans tous les grands bassins océaniques du monde. Ces dépôts sont associés à différents régimes typiques de limites tectoniques majeures comme les dorsales océaniques, les arcs volcaniques et les bassins arrière-arc. L'exploration de ces dépôts a révélé d'importants liens géochimiques et morphologiques entre l'enrichissement en métaux usuels et précieux et certains paramètres géologiques comme la roche encaissante, le degré de sédimentation, la déformation, la profondeur de l'eau et l'apport magmatique direct.

Le processus d'enrichissement en or demeure l'un des plus énigmatiques dans les dépôts hydrothermaux mis en place sur les fonds marins. Un enrichissement significatif en or a été observé dans différents contextes géologiques, passant des mégamullions de roches ultramafiques aux dorsales lentes aux volcans à prédominance felsique associés à un arc. À l'échelle du gîte, l'or est associé soit à des assemblages minéralogiques de haute température, comme chalcopyrite-pyrite, dans certains gîtes, soit à des assemblages minéralogiques de basse température, comme barytine-sphalérite-galène, dans d'autres gîtes. À l'instar de la minéralisation de type épithermal, l'ébullition des fluides hydrothermaux, directement sur le fond marin ou plus en profondeur, pourrait être un mécanisme important lié à l'enrichissement en or.

Notre compréhension actuelle de la formation des sulfures massifs sur le fond marin sera présentée, en portant une attention particulière à la formation de minéralisation riche en or. Nous traiterons aussi des contrôles géologiques ayant un effet sur la composition des gîtes de sulfures et de la manière de recueillir les données sur le fond marin. Basée sur plusieurs décennies d'exploration en eau profonde, notre compréhension de la genèse des gîtes de sulfures massifs sur le fond marin confirme et diverge de l'étude des SMV sur la terre ferme.

## SÉANCE 13

### Indicateurs temporels, géochimiques et isotopiques de la fertilité des provinces volcaniques pour les gisements de sulfures massifs encaissés dans des roches volcaniques

David L. Huston, David C. Champion (Geoscience Australia), Bruce Eglington (University of Saskatchewan), Sally Pehrsson (CGC-O)

Les données sur l'âge, la teneur et le nombre de tonnes des gisements de sulfures massifs encaissés dans des roches volcaniques (SMEV) indiquent que leur abondance et leur composition varient dans le temps. Les exemples préservés de gisements de SMEV sont plus abondants durant la formation de supercratons au Néoarchéen, mais également lors de la formation des supercontinents de Nuna et de Gondwana-Euramérique-Pangée. Des données préliminaires semblent indiquer que certaines étapes spécifiques de la formation de supercratons ou de supercontinents (par ex., la consommation des mers internes lors de la formation du Nuna) seraient plus fertiles que d'autres et que l'environnement tectonique de formation des SMEV a évolué dans le temps. Ces observations, basées sur des compilations de données à travers le monde, sont des indicateurs de fertilité pour les SMEV, de l'échelle mondiale à celle d'une province. Des indicateurs tenant compte des données géochimiques et isotopiques ont aussi été proposés à l'échelle du district.

Leshner *et al.* (1986) ont démontré que dans les terrains archéens, les volcanites felsiques associées à des gîtes minéraux dans les secteurs les plus fertiles présentent des concentrations relativement élevées en éléments de terres rares (ETR), mais des profils d'ETR relativement plats. Par contre, les travaux de Hart *et al.* (2004) révèlent que les caractéristiques des ETR dans les secteurs fertiles varient dans le temps, les secteurs fertiles plus jeunes étant caractérisés par un enrichissement en ETR totaux progressivement plus faible et des profils d'ETR plus variables. Puisque les caractéristiques des ETR magmatiques se rapportent à la profondeur de fusion et à la composition de la source, il est probable que les changements dans les indicateurs de fertilité basés sur les ETR se rapportent à la profondeur de fusion et, indirectement, à des changements séculaires de style tectonique.

Par ailleurs, les variations des isotopes radiogéniques permettent de déterminer les secteurs plus fertiles pour les SMEV, particulièrement dans les terrains archéens et paléoprotérozoïques. Les secteurs fertiles plus vieux de 1700 Ma sont juvéniles d'un point de vue isotopique, en raison d'un temps de séjour dans la croûte plutôt court (obtenus des âges modèles basés sur le Nd des granites) ou des faibles valeurs  $\mu$  ( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ) déterminées à partir d'échantillons minéralisés. Toutefois, après 1700 Ma, cette relation n'est plus valide; plusieurs districts de SMEV de calibre mondial (comme Mount Read et Bathurst) sont associés à une croûte relativement évoluée. Ces changements, tout comme les changements dans les indicateurs de fertilité géochimiques, témoignent possiblement de changements dans le contexte tectonique des ceintures volcaniques fertiles pour les SMEV à travers l'histoire de la Terre.

Enfin, à l'échelle du district, nous observons une corrélation entre la fertilité pour le Zn (mais pas pour le Cu) et la composition en isotopes de l'oxygène des phénocristaux de quartz (et donc du produit de fusion) dans les volcanites felsiques associées à des SMEV. Bien que Huston *et al.* (1998) ont proposé une composante de type S pour les produits de fusion fertiles, les données d'isotopes radiogéniques semblent démontrer qu'il est plus probable que ce lien témoigne du métasomatisme de la source (manteau ou croûte inférieure) du magmatisme associé à la minéralisation, une caractéristique importante pour d'autres types de gîtes minéraux.

Leshner, C.M., Goodwin, A.M., Campbell, I.H. et Gorton, M.P. 1986. Trace-element geochemistry of ore-associated and barren felsic metavolcanic rocks in the Superior Province, Canada. *Journal canadien des sciences de la Terre*, 23 : 222237.

Hart, T.R., Gibson, H.L. et Leshner, C.M. 2004. Trace Element Geochemistry and Petrogenesis of Felsic Volcanic Rocks Associated with Volcanogenic Massive Cu-Zn-Pb Sulfide Deposits. *Economic Geology*, 99 : 10031013.

Huston, D.L., Brauhart, C.W., Wellman, P. et Andrew, A.S. 1998. Gamma-ray spectrometric and oxygen-isotope mapping of regional alteration halos in massive sulphide districts; an example from Panorama, central Pilbara Craton. *AGSO Research Newsletter*, 29 : 1416.

## SÉANCE 13

### Le complexe aurifère Doyon-Westwood, Abitibi, Québec : un système magmatique-hydrothermal synvolcanique archéen

David Yergeau (INRS-ETE, Mines Agnico-Eagle), Patrick Mercier-Langevin, Benoît Dubé (CGC-Q), Alan Galley (Malleus Consulting), Vicki McNicoll, Simon E. Jackson (CGC-O), Michel Malo (INRS-ETE)

Le complexe Doyon-Westwood, situé dans la partie ouest du camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde, renferme plus de 300 tonnes d'or (10 millions d'onces : production cumulative, réserves et ressources). Il comprend le gisement Doyon (exploité de 1980 à 2009) et la mine Westwood (en production depuis 2014).

Les minéralisations sont encaissées dans les roches volcaniques et intrusives de la Formation de Bousquet (2699-2695 Ma) qui appartient au Groupe de Blake River. La séquence hôte du complexe Doyon-Westwood forme une mince bande homoclinale orientée E-W à fort pendage vers le sud, en contact structural avec les roches sédimentaires archéennes des groupes de Kewagama (nord) et de Cadillac (sud).

La déformation est hétérogène au sein de la Formation de Bousquet, mais est plus intense dans les zones d'altération hydrothermale et le long des contacts lithologiques. Le gradient métamorphique évolue en fonction de la profondeur, passant du faciès des schistes verts en surface au faciès des amphibolites inférieur à plus de 1,5 km de profondeur.

Deux styles distincts de minéralisation caractérisent le complexe Doyon-Westwood : 1) un système épizonal de veines de quartz-sulfures à la base (nord) et 2) une série de lentilles de sulfures semi-massifs à massifs avec des zones de stockwerk et de sulfures disséminés au sommet (sud). La déformation principale et le métamorphisme régional ont fortement affecté ces minéralisations.

Le système épizonal est formé de veines de quartz à Cu-Au d'épaisseur centimétrique à décimétrique qui sont riches en pyrite et en chalcoppyrite. Les veines sont associées à une altération proximale métamorphisée argileuse à localement argileuse-acide et riche en séricite-quartz  $\pm$  aluminosilicates-gypse-anhydrite. Elles sont interprétées comme étant associées à un système magmatique-hydrothermal lié à la mise en place du Pluton synvolcanique de Mooshla.

Les lentilles de sulfures à Zn-Au-Cu-Pb-Ag sont composées de pyrite-sphalérite  $\pm$  chalcoppyrite-galène et sont associées à une altération proximale de type argileux riche en séricite et à une altération distale à chlorite-carbonate-séricite-biotite-grenat manganésifère. Ces minéralisations sont interprétées comme étant associées à un système hydrothermal de type sulfures massifs volcanogènes.

Le contexte géologique, les observations de terrain et les données géochronologiques indiquent que les différents styles de minéralisation du complexe aurifère Doyon-Westwood sont contemporains et antérieurs aux événements tectono-métamorphiques. Ce large système aurifère est le résultat de l'interaction entre un système hydrothermal de type SMV et d'un système magmatique associé à une intrusion synvolcanique, formant un système magmatique-hydrothermal archéen à ~ 2697 Ma.

## SÉANCE 13

### Le SMV aurifère de Lemoine, Chibougamau, Québec : teneurs exceptionnelles dues à une contribution magmatique directe?

Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Benoit Lafrance (Ressources Tarku), Valérie Bécu (CGC-Q), Pierre-Simon Ross (INRS-ETE), Benoît Dubé (CGC-Q), Ingrid Kjarsgaard (consultante), Jayanta Guha (UQAC), Alexandre Boulerice (INRS-ETE)

La Ceinture de roches vertes de l'Abitibi contient certains des meilleurs exemples de gisements de sulfures massifs volcanogènes riches en or, notamment le gisement Lemoine (0,76 Mt à 4,56 g/t Au, 83,73 g/t Ag, 4,17 % Cu et 9,51 % Zn), exploité de 1975 à 1983 dans la région de Chibougamau.

Les roches volcaniques et intrusives hôtes font partie de la Formation de Waconichi (environ 2728 Ma). Elles forment un empilement homoclinal à pendage abrupt et au sommet vers le sud-est qui est constitué de rhyolites et d'andésites tholéiitiques surmontées de basaltes, d'andésites et de rhyolites de composition transitionnelle à calco-alcaline. Le niveau minéralisé se trouve près du sommet de la succession tholéiitique.

Sept faciès d'altération synvolcanique ont été établis au sein des roches affectées par la déformation et le métamorphisme au faciès des schistes verts, à partir des assemblages minéralogiques, de la géochimie, de la chimie minérale et de leur position par rapport au niveau minéralisé. Les faciès à albite-quartz, à séricite-carbonate, à séricite-chlorite, à chlorite-séricite et à chlorite-séricite-épidote-carbonate définissent des zones semi-concordantes dans l'éponte inférieure tandis que les faciès à chlorite et à chlorite-séricite-chloritoïde sont plutôt discordants et partiellement transposés; ils se superposent aux faciès semi-concordants. La signature isotopique de l'oxygène sur roches entières indique des températures variant de ~100-150 °C (faciès à séricite-carbonate) à ≥350 °C (faciès à séricite-chlorite, à chlorite-séricite-chloritoïde et à chlorite). Les faciès à chlorite-séricite-chloritoïde et à séricite-chlorite sont associés à un lessivage intense des éléments de terres rares légères.

Les assemblages minéralogiques associés à l'altération ainsi que leur signature géochimique et isotopique sont compatibles avec une altération par des fluides chauds et acides, possiblement des solutions riches en CO<sub>2</sub> et en HCl. Ces deux acides peuvent se retrouver dans les fluides hydrothermaux à la suite du dégazage magmatique en profondeur.

Les sulfures massifs de Lemoine contiennent des teneurs élevées en Bi, lequel provient vraisemblablement d'une source magmatique. Les données de terrain suggèrent une origine synvolcanique pour l'or (p. ex. : distribution des métaux). Bien qu'il n'y ait pas de preuves directes d'une source magmatique pour l'or, l'association entre le Bi et les autres métaux supporte l'hypothèse d'une contribution magmatique. La présence de Bi pourrait également avoir joué un rôle important en facilitant le transport de l'or dans les fluides hydrothermaux et sa concentration dans la zone minéralisée.

Il est proposé que le SMV aurifère de Lemoine résulte d'une contribution magmatique directe au système hydrothermal et de l'effet combiné d'un transport optimisé de l'or et de processus de précipitation particulièrement efficace des métaux.

## SÉANCE 13

### Multiple processus de remobilisation de l'or dans les SMV aurifères à métamorphisme de forte intensité : l'exemple du gisement Lalor, Snow Lake, Manitoba

Antoine Caté (SRK Consulting), Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Pierre-Simon Ross (INRS-ETE), Benoît Dubé (CGC-Q)

Le gisement Lalor, un gisement de type sulfures massifs volcanogènes (SMV) aurifères situé dans le camp de Snow Lake au Manitoba, consiste en une série de lentilles de sulfures semi-massifs à massifs enrichies respectivement en Zn, en Au et en Cu-Au, au sein de la séquence volcanique mafique à felsique protérozoïque de Chisel. Ce gisement dont les réserves et ressources étaient initialement estimées à 25,3 Mt à 5,01 % Zn, 0,79 % Cu, 4,23 g/t Au et 27,60 g/t Ag, incluant des zones plus riches en or de 8,8 Mt à 4,6 g/t Au, est en exploitation depuis 2012.

Les lentilles minéralisées du gisement Lalor ont connu au moins trois épisodes de déformation. La géométrie actuelle du gisement est contrôlée par la seconde phase (D<sub>2</sub>), la phase dominante, qui est responsable de la remobilisation d'une partie de la minéralisation. Les lentilles sont fortement transposées et plissées. Une ségrégation minérale et une recristallisation des sulfures ont eu lieu lors de cet épisode tectono-métamorphique majeur. Des structures de percement pouvant s'étendre jusqu'à dix mètres dans les roches hôtes ont permis la remobilisation des sulfures les plus ductiles. Le métamorphisme au faciès des amphibolites associé à D<sub>2</sub> a entraîné la formation d'assemblages de minéraux complexes à amphibole, à biotite, à muscovite, à grenat, à staurotite, à cordiérite, à kyanite, à chlorite et/ou à carbonate, aux dépens des assemblages d'altération synvolcanique. La remobilisation de l'or et d'autres métaux comme l'Ag, le Cu, le Pb et le Zn durant le métamorphisme s'est traduite par la formation d'un halo autour des lentilles de sulfures massifs. De l'or remobilisé est présent dans des roches non altérées en contact structural avec les lentilles zincifères, témoignant de la nature épigénétique de la remobilisation. Cette remobilisation des métaux a été en grande partie canalisée le long de couloirs de déformation pour former les principales lentilles aurifères. L'absence d'or en dehors des lentilles zincifères suggère que l'or est lié à une remobilisation de l'or synvolcanique présent dans les sulfures massifs et non à un apport externe au gisement volcanogène. Les assemblages minéralogiques (p. ex. : sulfosels et éléments natifs) indiquent qu'une fusion partielle des sulfures ait pu avoir joué un rôle dans la remobilisation de l'or.

Les relations spatiales et les recoupements entre les lentilles minéralisées, les zones d'altération, les roches hôtes et les éléments structuraux montrent que les lentilles riches en Zn sont synvolcaniques et se sont formées soit sur le fond marin ou par remplacement dans des roches volcanoclastiques non consolidées. Les lentilles riches en Cu-Au, situées dans l'éponte inférieure des lentilles riches en Zn, correspondent à des réseaux de filonnets (stockwerks) discordants synvolcaniques qui sont transposés dans la foliation principale (S<sub>2</sub>). Par contre, les lentilles riches en Au résultent de la remobilisation de l'or et d'autres métaux lors du métamorphisme, le long de couloirs de forte déformation parallèles à la foliation principale.

## SÉANCE 14

### Halage hybride au diesel

**Michael Lyten (Komatsu Mining Corp. Group)**

Les groupes motopropulseurs faisant appel à des technologies avancées comblent l'écart entre les produits d'aujourd'hui et l'avenir sans diesel. Ces nouveaux groupes motopropulseurs peuvent aider à réduire considérablement la consommation de carburant et les émissions de diesel, tout en rendant le véhicule plus performant.

## SÉANCE 14

### La mine souterraine en roche dure sans diesel

**Michael Lyten (Komatsu Mining Corp. Group)**

La présentation abordera les opportunités, les défis et les pièges à éviter, du point de vue d'un fabricant d'équipement mobile, associés au passage de l'état actuel à un avenir sans diesel, et ce, tout en maintenant la productivité et la fiabilité des produits dans un contexte où la technologie évolue rapidement.

## SÉANCE 14

### Les tests de sécurité des véhicules électriques et comment ils s'appliquent au secteur minier

**Dean MacNeil (CNRC)**

Un survol des différentes méthodes d'essai des véhicules électriques, les résultats des travaux du CNRC et les liens avec le secteur minier.

## SÉANCE 14

### Économies de carburant potentielles découlant de l'analyse du cycle de service d'un véhicule minier

**Benoît Lacroix (Effenco)**

L'efficacité de l'hybridation ou de l'électrification d'un véhicule dépend largement de la compréhension du cycle de service de ce véhicule. En comprenant le besoin énergétique à chaque instant de la période d'opération, il est possible d'identifier des solutions mécaniques, humaines et logistiques qui mèneront vers des économies de carburant. Effenco présente l'analyse d'un cycle de service d'un véhicule minier et les opportunités d'économies potentielles de carburant qui en découlent.

## SÉANCE 15

### L'intelligence artificielle en traitement minéral : optimisation en temps réel théorique et pratique

Mark de Geus, Grant Kopec, Hugh McNamara, Boris Wolter, Cristian Gonzalez, Chris Hallson (Intellisense)

Il est important de prendre les bonnes décisions en traitement minéral. Aujourd'hui, nous pouvons mieux utiliser les données existantes pour en savoir plus sur un procédé et pour choisir les points de contrôle qui livreront la valeur optimale. Trois technologies nous permettent de le faire : les technologies de l'Internet des objets (IdO) colligent et stockent plus de données en temps réel que nous pouvions le faire auparavant; les technologies d'intelligence artificielle (IA) utilisent ces données pour obtenir de l'information en temps réel à propos de l'état actuel et futur des procédés; l'infonuagique nous procure la puissance de traitement sur demande qui permet de faire tout cela.

Cette présentation abordera les aspects théoriques et pratiques de la mise en œuvre de ces technologies : 1) l'épuration des données en temps réel; 2) leur utilisation pour bâtir des versions numériques des actifs physiques afin d'obtenir davantage d'information sur l'état actuel des choses; 3) l'utilisation de l'apprentissage automatique et d'autres techniques de modélisation plus robustes pour prédire et simuler le rendement futur des circuits individuels; 4) la connexion de ces circuits numériques pour offrir une optimisation au niveau du système en temps réel. L'objectif est d'améliorer le rendement d'un point de vue opérationnel, financier et environnemental.

L'application théorique de ces technologies sera accompagnée d'exemples pratiques montrant comment de vraies difficultés opérationnelles peuvent être surmontées. Des démonstrations du logiciel Brains.app (une plate-forme combinant IdO et IA pour l'industrie minière) expliqueront comment ces données sont utilisées dans le processus décisionnel à différents niveaux de l'opération, que la décision soit prise par l'opérateur, le métallurgiste, le planificateur de l'entretien, l'ingénieur des contrôles ou le directeur. Quant à l'adoption généralisée de ces nouvelles technologies, le défi réside dans les aspects pratiques de la gestion du changement plutôt que dans les technologies en soi.

## SÉANCE 15

### Valorisation des données en temps réel par l'intelligence artificielle dans les mines souterraines

Michel Dubois, Louis-Pierre Campeau (Newtrax)

Depuis plusieurs années, de grands changements s'opèrent dans les mines souterraines du monde entier. De plus en plus de données sont collectées à chaque étape du processus d'extraction, et ce, à des fréquences et avec une précision en constante augmentation. Dans ce contexte, l'utilisation de ces données pose de nouveaux défis d'analyse et de prédiction. Cette présentation traitera des différentes techniques d'apprentissage machine (*machine learning*) utilisées afin de valoriser ces données, y compris des exemples d'application concrète de ces techniques au domaine minier.

## SÉANCE 15

### L'intelligence artificielle appliquée au forage de production dans les exploitations de surface

François Gariépy (Peck Tech Consulting),  
Gilles Éric Zagré (GERAD)

Le forage et le dynamitage du charbon nécessitent l'identification des nappes de charbon dans le sol. Les portions de trous côtoyant le charbon ne doivent pas être chargées d'explosif à cause du risque de pulvériser le charbon et de perdre sa valeur marchande. Les portions de trous de forage en contact avec le charbon doivent être remplies de charbon lors du chargement des explosifs, ce qui engendre des délais et des pertes économiques. Il est donc important d'identifier précisément (à  $\pm 25$  cm) les élévations où ont lieu les transitions entre le charbon et les autres matériaux. Peck Tech, en collaboration avec des chercheurs de l'École Polytechnique de Montréal, œuvre actuellement au développement d'un outil basé sur l'intelligence artificielle pour détecter en temps réel le charbon lors de forages. Les signaux des différents capteurs de la foreuse sont utilisés comme intrants d'un réseau de neurones artificiels calibré pour prédire la présence d'une couche de charbon et, ultimement, la transition entre les différentes couches géologiques.

## SÉANCE 15

### L'intelligence artificielle appliquée au contrôle de la dilution minière souterraine

Yvan Dionne, Luis Montiel (PROMINE),  
Kilian Bao (DT Solution Services)

La dilution minière découle de l'incorporation de stérile dans le minerai lors de son exploitation dans un chantier. Ce stérile n'ayant aucune valeur économique, il vient nuire à la rentabilité des opérations minières.

L'intelligence artificielle permet, à partir de données parfois éparses, de déduire des solutions optimales. Le projet mené par l'Université Laval, DT Solutions Services et Promine vise à prédire et à diminuer la dilution à partir d'informations fournies par l'industrie. Un outil de travail est en développement pour aider la prise de décision et utiliser les solutions de contrôle optimales face aux conditions rencontrées. Les bienfaits sont nombreux, tant au niveau de la rentabilité, de la sécurité et de l'environnement.

## SÉANCE 15

### Intelligence artificielle et première transformation des métaux : trois applications dans le domaine de l'aluminium

Simon Potvin, Olivier Gagnon (Alworx),  
Sébastien Bujold (Aluminerie Alouette)

Au courant des dernières années, les alumineries, comme une majorité d'industries de première transformation des métaux, ont acquis une certaine maturité numérique leur permettant l'utilisation de solutions en intelligence artificielle. L'application d'une telle technologie dans les différentes sphères de cette industrie s'annonce des plus prometteuse. Trois projets d'intelligence artificielle réalisés conjointement par Alworx et Aluminerie Alouette seront présentés.

Le premier projet concerne la prédiction à long terme de la production d'aluminium, tant d'un point de vue de la quantité que de la qualité (contaminants). Pour Aluminerie Alouette, cette information est indispensable afin de bien planifier ses opérations et de satisfaire à la demande d'aluminium auquel elle doit faire face.

Le deuxième projet étudie la prédiction de la fin de vie des cuves. Une estimation plus précise de la fin de vie des cuves permet non seulement de mieux planifier les travaux de restauration, mais aussi d'orienter et d'évaluer les travaux réalisés afin de prolonger la durée de vie des cuves.

Le dernier projet est la prédiction des instabilités des cuves et des effets d'anodes. Les cuves instables requièrent de l'attention pour limiter la perte de productivité, soit par des interventions automatiques ou manuelles. Prédire les instabilités des cuves ou les effets d'anodes permet d'effectuer des traitements de prévention. Lorsqu'il est possible de catégoriser l'instabilité à venir, le traitement préventif peut même être adapté à la pièce, augmentant ainsi les chances de succès. Ce projet est un très bon exemple de la complexité inhérente au déploiement à grande échelle d'une solution en intelligence artificielle.

La présentation de ces trois projets en intelligence artificielle réalisés chez Aluminerie Alouette mettra l'accent sur les clefs du succès. Elle abordera les problématiques, le cheminement des différentes solutions ainsi que les résultats et leurs interprétations. Nous verrons qu'il est essentiel de s'adapter à la réalité industrielle afin d'augmenter les chances de succès.

## SÉANCE 17

### Les données géophysiques régionales préconcurrentielles : la situation actuelle et l'avenir

Jenna McKenzie (Ronacher McKenzie Geoscience),  
Ken Witherly (Condor Consulting),  
Elisabeth Ronacher (Ronacher McKenzie Geoscience)

Les données préconcurrentielles font référence aux données géoscientifiques (données géologiques, géophysiques et géochimiques) qui ont été acquises par une agence gouvernementale et qui sont ensuite rendues disponibles à des parties intéressées, leur permettant de réaliser des évaluations minérales préliminaires avant d'engager des sommes importantes pour faire l'acquisition de terrains et y effectuer des travaux d'exploration. Le principal objectif de ces données est de stimuler la découverte de minéralisations et le développement commercial à plus long terme. Le défi, quand vient le temps de définir l'impact de ces données, est de distinguer l'effet de stimulation économique à court terme du développement économique à long terme. Essentiellement, les effets à court terme impliquent un transfert de richesse entre les parties impliquées, tandis que le développement à long terme est susceptible de mener à la création de nouvelle richesse qui pourra alors soutenir l'économie locale sur une longue période.

Les gouvernements assument normalement l'entière responsabilité quant à la production de données préconcurrentielles, au sein de nouveaux terrains. Comme leur potentiel minéral n'a pas encore été établi, ils sont moins attirants pour le milieu de l'exploration en raison du risque perçu. Dans les terrains plus matures, de grandes quantités de données géoscientifiques issues des campagnes d'exploration minière sont déposées en travaux statutaires. Ces ensembles de données s'ajoutent à l'inventaire global de données géoscientifiques du domaine public et peuvent compléter les données financées par des sources gouvernementales, pourvu qu'elles soient pleinement et facilement accessibles en formats modernes (par ex. : données numériques versus cartes en papier).

Les données préconcurrentielles sont d'importance capitale, tant pour les sociétés d'exploration que pour l'économie d'une région, puisqu'elles aident à réduire le risque lié à l'exploration dans un secteur donné. La présentation de données géophysiques pose un défi complexe lorsque les sociétés d'exploration s'attaquent à des terrains plus difficiles. Les petites sociétés d'exploration n'ont souvent pas les ressources nécessaires pour réaliser des analyses sophistiquées sur des ensembles de données géophysiques complexes. Les sociétés plus importantes maintiennent qu'il s'agit là d'un de leurs avantages concurrentiels et ne demandent qu'un accès rapide à des données de grande qualité. Une communication efficace entre le gouvernement et l'industrie est aussi critique, particulièrement dans les terrains plus matures, lorsque les sociétés d'exploration ont besoin de données préconcurrentielles plus sophistiquées (et probablement plus coûteuses) pour y définir des cibles. Les différents types de données, ainsi que les avantages et les inconvénients associés au financement d'analyses plus détaillées par les entités gouvernementales seront abordés.

En plus de ces concepts, nous porterons un regard sur ce qui se fait dans d'autres juridictions, tant au Canada qu'à l'international, où une importante couverture géoscientifique préconcurrentielle est disponible. Nous discuterons de l'acquisition des données préconcurrentielles, y compris les leçons à tirer dans chaque juridiction. L'application de ces idées au potentiel d'exploration minière au Québec aidera à perpétuer et à promouvoir la place du Québec parmi les meilleures juridictions d'exploration et d'exploitation minières au monde.

## SÉANCE 17

### La géophysique dans le cadre du projet Metal Earth pour mieux comprendre l'enrichissement en métaux des roches précambriennes

**Richard Smith, Esmail Eshaghi, Saeid Cheraghi, Mostafa Naghizadeh, Eric Roots, Graham Hill (Université Laurentienne)**

Le projet Metal Earth, encadré par l'Université Laurentienne, étudie la géologie et la géophysique le long de transects dans le bouclier précambrien canadien afin de comprendre les processus qui contrôlent la distribution des minéraux et leur enrichissement. Les travaux comprennent la cartographie des lithologies, des structures, des altérations et de la minéralisation en surface, des levés géochimiques ainsi que des études géochronologiques. Quant aux levés géophysiques complémentaires (réflexion sismique et sismique passive, méthode magnétotellurique [MT], gravimétrie et magnétométrie régionale), leur objectif est d'étudier les structures dans la croûte et le manteau supérieur. Les données magnétiques existantes seront compilées pour aider la cartographie géologique et pour identifier les structures au-dessus de l'isotherme de Curie, sous lequel les roches ne sont pas magnétiques. La modélisation des données gravimétriques et magnétiques se fera à l'aide de mesures des propriétés physiques prises en affleurement et sur des échantillons de terrain. Les données existantes sur les propriétés physiques seront compilées en parallèle à ces nouvelles mesures afin d'améliorer le niveau de confiance à l'égard des statistiques calculées à partir des valeurs pour chaque lithologie.

Le long du transect de Swayze, le modèle de résistivité (MT) révèle la présence d'étroites zones subverticales de faible résistivité dans la croûte supérieure, interprétées comme des voies de circulation empruntées par les fluides pour se rendre à la surface à partir d'une zone de faible résistivité quasi horizontale dans la croûte inférieure. Les résultats préliminaires des données de réflexion sismique montrent une meilleure résolution et plus d'éléments perçus que dans les données historiques Lithoprobe. Un levé sismique passif sera aussi entrepris afin de déterminer la pertinence d'appliquer cet outil, traditionnellement utilisé à beaucoup plus grande échelle, dans le cadre d'études d'exploration locales lorsque la réflexion sismique ne convient pas. Les données géophysiques seront intégrées aux données géologiques et interprétées pour livrer un modèle cohérent. L'objectif ultime est d'améliorer l'efficacité des futures campagnes d'exploration minière dans les secteurs moins connus.

Publication numéro MERC-ME-2018-085 du projet Metal Earth.

## SÉANCE 17

### Écoute – Vision – Action : les récentes avancées technologiques en géophysique d'exploration minière.

**Pierre Bérubé (Abitibi Géophysique)**

Une invention qui demeure sur une tablette n'est pas une innovation. En exploration minière, c'est lorsqu'elle est adoptée par la communauté d'explorateurs qu'une invention peut mériter d'être consacrée innovation. Et pour être adoptées, les innovations doivent permettre d'ajouter une plus-value aux méthodologies existantes. Par exemple, au niveau de la sécurité des opérations, de la profondeur d'investigation, de l'acquisition de plusieurs paramètres complémentaires simultanément, de la transformation des bulles rouges en termes quantitatifs.

Un survol de quelques développements récents pouvant être qualifiés d'innovations sera présenté :

- L'utilisation de drones pour réaliser certains levés géophysiques;
- L'avènement de la technologie OMNI-XL en TDEM au sol, qui permet la détection de tous les conducteurs géologiques, peu importe leur pendage, leur profondeur et leur qualité;
- L'utilité complémentaire de l'imagerie par radiofréquence (RIM) à la TDEM en forage;
- Les avancées technologiques permettant de pousser plus en profondeur l'investigation par polarisation provoquée;
- La gravimétrie en forage qui permet d'obtenir une estimation de l'excès de masse au voisinage d'un forage, sans même connaître la forme de l'amas qui le cause.

Ces avancées seront présentées en utilisant des analogies pour éviter autant que possible le jargon des géophysiciens. Des modèles synthétiques parfaitement contrôlables et des exemples de terrain vous permettront de vous faire une idée de la pertinence de ces développements dans le contexte de vos propres programmes d'exploration.

## SÉANCE 17

### Comment extraire l'information géologique des données géophysiques à l'aide d'une approche interprétative intégrée

Gervais Perron, Glenn Pears, John McGaughey  
(Mira Geosciences)

La dernière décennie a vu de nouvelles tendances en exploration prendre racine dans notre industrie. Les projets d'exploration sont de plus en plus axés sur des cibles enfouies sous un important couvert ou situées en profondeur. Avec le dernier cycle baissier, nous avons aussi été témoins des changements au niveau du portefeuille des sociétés minières, les propriétés dans des secteurs moins connus cédant leur place aux prospects moins risqués dans des secteurs déjà bien établis. Par conséquent, l'exploration nécessite une contribution plus importante des méthodes géophysiques.

Le rôle des données sur les champs potentiels dans l'interprétation de cartes géologiques et de sections transversales en 2D à plus grande échelle est connu depuis plusieurs décennies. À mesure que les projets d'exploration se rapprochent de la mise en exploitation, le besoin d'une modélisation en 3D devient important et le rôle de la géophysique change pour devenir un outil de détection directe. En présence d'un couvert important et de cibles plus profondes, il est de plus en plus difficile pour les données géophysiques de surface et aéroportées de jouer ce rôle, toutefois elles peuvent toujours contribuer à l'interprétation du cadre géologique et à la définition de l'empreinte des systèmes minéralisateurs.

Dans le cadre d'une approche interprétative intégrée (modélisation) de la géologie et de la géophysique, le processus en général et le coffre à outils utilisés seront décrits, ainsi que certaines lacunes associées aux technologies standards utilisées présentement pour la modélisation géologique et géophysique en 3D. La clé réside dans les algorithmes de modélisation géophysique qui fonctionnent directement en 3D dans un modèle géologique existant, permettant de valider les modèles géologiques et de tester différents scénarios à l'aide des données géophysiques. Le processus est itératif et implique une combinaison de différentes inversions géophysiques et de méthodes de modélisation prospective, résultant en un modèle en 3D cohérent du point de vue des propriétés lithologiques.

Une combinaison de modélisation prospective et d'inversions d'unités homogènes, d'unités géométriques et hétérogènes appliquées sur un modèle en 3D des propriétés lithologiques a été utilisée pour minimiser progressivement les aberrations entre le modèle existant et les données géophysiques mesurées, tout en évaluant les signatures géophysiques inexpliquées et les solutions géologiques plausibles à chaque étape.

Un exemple théorique de l'approche proposée et une étude de la profondeur du socle réalisée pour la société FQML dans le nord du Chili seront présentés. Dans cette étude, la validité de la mise à jour du modèle géologique en 3D de l'épaisseur du couvert, établie au moyen des données gravimétriques, a été confirmée par forage; la marge d'erreur de l'épaisseur du couvert est de 10 %, l'épaisseur des intersections de gravier variant de 30 à 200 mètres. Une étude subséquente des signatures magnétique et gravimétrique du socle a mis en lumière des centres intrusifs felsiques potentiels entourés de halos d'altération. Ce projet témoigne de la contribution des données gravimétriques et magnétiques à la géologie pour l'exploration de gîtes porphyriques sous couvert.

Dans des environnements bien établis, la modélisation intégrée en 3D de la géologie et de la géophysique a le potentiel d'améliorer la compréhension géologique en 3D, de répondre aux questions clés en exploration et de définir les empreintes associées aux systèmes minéralisateurs. Cette technologie innovatrice fournit un cadre commun et des modèles en 3D tangibles pour soutenir les programmes d'exploration.

## SÉANCE 17

### Assimilation stochastique en 3D de données ERT et gravimétriques en utilisant la simulation séquentielle bayésienne

Shiva Tirdad, Abderrezak Bouchedda, Erwan Gloaguen  
(INRS-ETE), J. Christian Dupuis (UL)

L'objectif de cette étude est de présenter un algorithme d'assimilation stochastique en 3D de données gravimétriques et de tomographie de résistivité électrique de surface, en tenant compte du modèle conceptuel géologique ainsi que des relations spatiales entre les propriétés physiques des roches. Cette approche permet de tester des modèles géologiques et pétrophysiques par modélisation directe de données géophysiques et d'évaluer les différences entre les données mesurées et calculées.

L'approche est basée sur une méthode d'inversion stochastique dans laquelle le modèle géologique conceptuel de la zone d'étude est utilisé comme image d'apprentissage pour générer plusieurs scénarios géologiques équiprobables au moyen d'une simulation multipoints. Un ensemble de modèles stochastiques de densité volumique est ensuite calculé à l'aide de simulations séquentielles gaussiennes conditionnelles à l'intérieur de chaque unité géologique afin d'explorer la distribution spatiale probable de la densité dans toutes les unités géologiques, en utilisant des données de densité volumique mesurée en forage comme contraintes. Les différentes réalisations stochastiques de densité sont combinées de manière itérative et linéaire par déformation graduelle pour obtenir une correspondance satisfaisante avec l'ensemble des données observées. La fonction objective de la déformation graduelle est d'optimiser l'ajustement entre les anomalies de Bouguer mesurées et calculées. Le modèle de densité volumique optimisé et les données de conductivité de forage sont ensuite utilisés dans l'algorithme séquentiel bayésien pour calculer des modèles de conductivité électrique en 3D qui respectent les données mesurées. Le modèle de conductivité passe par une autre étape d'optimisation de la déformation graduelle, dont l'objectif est de minimiser la différence entre les potentiels électriques mesurés et calculés. Cette méthodologie a été appliquée aux données du gisement de sulfures massifs volcanogènes de Lalor, situé près de Snow Lake au Manitoba (Canada). Le modèle pétrophysique obtenu avec notre méthode respecte le modèle géologique et prend en compte la variabilité spatiale ainsi que l'incertitude inhérente à chaque méthode. Comme la résolution est métrique, il pourrait intégrer les données géophysiques et géologiques et, éventuellement, être utilisé pour l'estimation des ressources et des teneurs.

## RÉSUMÉS DES PHOTOPRÉSENTATIONS

<b>METAL EARTH à Chibougamau : origine du granophyre sodique du Complexe du Lac Doré (CLD) et des minéralisations associées, région de Chibougamau, Abitibi (Québec) .....</b>	<b>42</b>	<b>Contexte de la déformation et du métamorphisme de la Faille de Barlow, Chibougamau, Québec .....</b>	<b>46</b>
Youssouf Ahmadou, Lucie Mathieu, Damien Gaboury (CERM-UQAC)		Antoine Brochu, Pierre Bedeaux, Réal Daigneault (CERM-UQAC)	
<b>Modélisation et prévision de la demande d'électricité résidentielle .....</b>	<b>42</b>	<b>Composition chimique de la chalcopryrite comme critère discriminatoire du type de gîtes à l'échelle mondiale .....</b>	<b>47</b>
Fatima Amara (UQTR)		Enzo Caraballo, Georges Beaudoin (UL)	
<b>Biocarburants ou électrification? Analyse de différentes possibilités pour la transition énergétique du Québec .....</b>	<b>43</b>	<b>Effet de la température sur la mobilité des éléments potentiellement problématiques présents dans les résidus issus de l'extraction de terres rares .....</b>	<b>47</b>
Miguel F. Astudillo (LIRIDE, UdeS), Kathleen Vaillancourt (ESMIA Consultants), Pierre-Olivier Pineau (HEC), Ben Amor (LIRIDE, UdeS)		Sophie Costis, Jean-François Blais (INRS-ETE), Lucie Coudert, Carmen Mihaela Neculita (IRME UQAT-Polytechnique), Kristin Mueller, Emmanuelle Cecchi (INRS-ETE)	
<b>Géologie et potentiel minéral de la région du lac des Montagnes, sous-provinces de La Grande, de Nemiscau et d'Opatca, Eeyou Istchee Baie-James.....</b>	<b>43</b>	<b>Caractéristiques environnementales des rejets miniers et du drainage provenant d'un gisement de niobium de type carbonatite, Oka, Québec .....</b>	<b>48</b>
Daniel Bandyayera et Emmanuel Caron-Côté (MERN)		Alexandre J. Desbarats, Jeanne B. Percival, Katherine E. Venance (CGC-0), Michael B. Parsons (CGC-A)	
<b>Géologie et potentiel minéral de la région du lac Cadieux, sous-provinces d'Opatca et d'Opinaca, Eeyou Istchee Baie-James .....</b>	<b>44</b>	<b>Application du réacteur plasma pour le traitement de pegmatite riche en lithium .....</b>	<b>48</b>
Anne-Marie Beauchamp et Frédéric Massei (MERN)		Colin Dessemond, Francis Lajoie-Leroux, Gervais Soucy (UdeS), Nicolas Laroche, Jean-Francois Magnan (NMX)	
<b>Cartographie du transect de Chibougamau, projet Metal Earth : styles structuraux de la Faille de Barlow et du bassin de Chebistuan.....</b>	<b>44</b>	<b>Surveillance microsismique des mines en temps réel.....</b>	<b>49</b>
Pierre Bedeaux, Lucie Mathieu, Réal Daigneault (CERM-UQAC)		Ana Cecilia Dip, Bernard Giroux, Erwan Gloaguen (INRS-ETE)	
<b>Contrôles lithologiques et structuraux relatifs à la nature, au style et à la géométrie des zones aurifères de la zone 5 du complexe minier LaRonde, Abitibi, Québec .....</b>	<b>45</b>	<b>Principaux contrôles primaires et structuraux sur la nature et la distribution de l'or et de l'argent dans les zones minéralisées du projet B26, Groupe de Brouillan-Fénélon, Abitibi, Québec.....</b>	<b>49</b>
Émile Boily-Auclair (INRS-ETE), Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Pierre-Simon Ross (INRS-ETE), David Pitre (Mines Agnico Eagle)		Quentin Fayard (CERM-UQAC), Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Serge Perreault (SOQUEM), Réal Daigneault (CERM-UQAC)	
<b>Metal Earth à Chibougamau, stratigraphie, chimie et âge de la Formation d'Obatogamau .....</b>	<b>45</b>	<b>Carbonatation minérale par la complexation du fer en utilisant la 2,2-bipyridine comme ligand .....</b>	<b>50</b>
Adrien Boucher, Lucie Mathieu, Réal Daigneault (CERM-UQAC)		Javier Fernandez Reynes (INRS-ETE)	
<b>Inventaire des ressources en granulats de la région de Matane .....</b>	<b>46</b>		
André Brazeau (MERN), Sébastien Larente-Marcotte (UL), Yvon-Pépin Tekeundeu-Kamahe (UQAC)			

<b>Contrôle structural de la minéralisation aurifère à la mine Éléonore et à l'indice Cheechoo, Eeyou Istchee Baie-James, Province du Supérieur, Québec .....</b>	<b>50</b>	<b>Minéralisations chromifères et nickélfères associées à la Suite mafique-ultramafique de Caumont dans le secteur de Nemiscau, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada.....</b>	<b>54</b>
Arnaud Fontaine (INRS-ETE), Benoît Dubé (CGC-Qc), Michel Malo (INRS-ETE), Vicki McNicoll, Simon Jackson (CGC-O), Nathalie Prudhomme (Goldcorp), Jordi Turcotte, Dominique Doucet (Ressources Sirios)		Michel G. Houlé (CGC-Q), Daniel Bandyayera (MERN)	
<b>Efficacité de l'électrocoagulation pour le traitement du drainage minier acide ferrifère....</b>	<b>51</b>	<b>Pluton de Chevrillon : homogénéité et relation à la déformation (Chibougamau, Québec) .....</b>	<b>55</b>
Takoua Foudhaili, Baptiste Hédouin, Carmen Mihaela Neculita, Lucie Coudert (IRME UQAT-Polytechnique), Olivier Patrick Lefebvre (Université Nationale de Singapour)		Julien Huguet, Lucie Mathieu, Paul Bédard (CERM-UQAC)	
<b>Stratigraphie, pétrogenèse et minéralisation volcanogène de la Ceinture archéenne de Colomb-Chaboullié, Baie-James .....</b>	<b>51</b>	<b>Méthodologie d'évaluation de la performance technique des chantiers d'abattage : écarts opérationnels et voies d'optimisation.....</b>	<b>55</b>
Sarah Galloway, Pierre-Simon Ross (INRS-ETE), Daniel Bandyayera, Yannick Daoudene (MERN)		Sebastián Ibarra-Gutiérrez, Marcel Laflamme, Stefan Planeta (UL)	
<b>Comportement des éléments traces à l'approche des gisements d'or et de sulfures massifs volcanogènes : étude de cas en Abitibi .....</b>	<b>52</b>	<b>Présentation des données géophysiques publiées en 2018.....</b>	<b>56</b>
Dominique Genna, Damien Gaboury, Réal Daigneault (CONSOREM-UQAC)		Rachid Intissar, Siham Benahmed (MERN)	
<b>Géologie de la région du lac Casterne, sous-provinces de La Grande et d'Opinaca, à l'est de Radisson, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada .....</b>	<b>52</b>	<b>Présentation des levés aéromagnétiques réalisés en 2018 dans les secteurs de la rivière Mistassini et du lac Péribonka .....</b>	<b>56</b>
Jean Goutier, Myriam Côté-Roberge (MERN)		Rachid Intissar, Siham Benahmed (MERN)	
<b>Domaines géométallurgiques dans un gisement aurifère : le cas du gisement Whale Tail, projet Amaruq, Nunavut .....</b>	<b>53</b>	<b>Évaluation de la performance d'un champ de forages géothermiques.....</b>	<b>57</b>
Floriane Guillevic, Lucie Mathieu (CERM-UQAC), Marjorie Simard (Mines Agnico Eagle)		Nehed Jaziri, Jasmin Raymond (INRS-ETE), John Molson (UL), Nicolò Giordano (INRS-ETE), Maxime Boisclair	
<b>Cartographie du potentiel géothermique superficiel : application dans la communauté nordique de Kuujuaq, Québec, Canada.....</b>	<b>53</b>	<b>Évaluation de l'état des ressources géothermiques locales et adaptation des technologies au contexte nordique .....</b>	<b>57</b>
Evelyn Gunawan, Nicolò Giordano, Jasmin Raymond (INRS-ETE)		Inès Kanzari, Nicolò Giordano, Malfada Alexandra Miranda, Jasmin Raymond (INRS-ETE), Chrystel Dezayas (BRGM)	
<b>Domaines lithologiques, structures profondes et reconstruction de la Province du Supérieur au Québec : implications pour l'exploration minérale et les modèles tectoniques.....</b>	<b>54</b>	<b>Étude tectono-métamorphique de la région de Manicouagan.....</b>	<b>58</b>
Lyal Harris (INRS-ETE), Nathan Cleven, Carl Guilmette (UL)		Charles Kavanagh-Lepage, Félix Gervais (Polytechnique)	
		<b>Développement d'un procédé de carbonatation minérale de CO<sub>2</sub> par des résidus miniers issus de l'exploitation d'une mine d'apatite.....</b>	<b>58</b>
		Waâd Khemiri, Guy Mercier, Louis-César Pasquier (INRS-ETE), Maria C. Iliuta (UL), Jean-François Blais (INRS-ETE)	
		<b>Synthèse de la cartographie de l'indice Moly-Desgagné : déformation et métamorphisme (Complexe d'Eau Jaune, région de Chibougamau, Québec) .....</b>	<b>59</b>
		Marie Kieffer, Lucie Mathieu, Damien Gaboury (CERM-UQAC)	

<b>Caractérisation de la déformation dans la Zone imbriquée de Manicouagan, Province de Grenville, Québec .....</b>	<b>59</b>	<b>Étude de la chaîne de valeur de la bioénergie forestière dans le contexte de la lutte aux changements climatiques au Québec .....</b>	<b>64</b>
Gaëlle Labat, Félix Gervais (Polytechnique)		Ayaovi Locoh, Évelyne Thiffault (UL), Simon Barnabé (UQTR)	
<b>Impact des impuretés sur l'extraction du lithium du <math>\beta</math>-spodumène lors du grillage à l'acide sulfurique .....</b>	<b>60</b>	<b>Métallogénie de l'or dans la Ceinture de roches vertes de la Haute Eastmain .....</b>	<b>64</b>
Francis Lajoie-Leroux, Colin Dessemond, Gervais Soucy (UdeS), Nicolas Laroche, Jean-François Magnan (NMX)		Jonathan Marleau, Stéphane de Souza (UQAM), Anne-Marie Beauchamp, Frédéric Massei (MERN)	
<b>Géologie des dépôts de surface de la région de Nemaska (portion nord de 32N), Eeyou Istchee Baie-James.....</b>	<b>60</b>	<b>Géologie et potentiel minéral de la région du lac Watts, Domaine Nord, Fosse de l'Ungava, Nunavik .....</b>	<b>65</b>
Olivier Lamarche, Virginie Daubois, Hugo Dubé-Loubert (MERN)		Guillaume Mathieu, Mélanie Beaudette (MERN)	
<b>Analyses des minéraux lourds provenant des sédiments glaciaires et fluvioglaciaires de la région de Nemiscau, Eeyou Istchee Baie-James.....</b>	<b>61</b>	<b>Prévention et atténuation des émissions fugitives de résidus de bauxite : effet des conditions environnementales, prévision et évaluation des risques .....</b>	<b>65</b>
Olivier Lamarche, Virginie Daubois, Hugo Dubé-Loubert (MERN)		Josée Maurais, Emrick Dauphinais, Céline Larivière-Loiselle, Étienne Beaumont, Étienne Morin, Alain Royer (UdeS), Nicolas-Alexandre Bouchard (Rio Tinto Alcan International), Patrick Ayotte (UdeS)	
<b>Évaluation du potentiel minéral à partir d'un levé géologique du Quaternaire dans la région de Nemaska .....</b>	<b>61</b>	<b>Géologie et géochimie du système de Ni-Cu-(EGP) magmatique de Raglan-Expo, ceinture de Cape Smith, Nunavik, Québec.....</b>	<b>66</b>
Olivier Lamarche, Virginie Daubois, Hugo Dubé-Loubert (MERN)		Dylan J. McKeivitt, C. Michael Leshar (Université Laurentienne), Michel G. Houllé (CGC-Q et Université Laurentienne)	
<b>L'architecture de la Province de Grenville le long de la route 117 dans l'ouest du Québec : perspectives issues des travaux de terrain et de la géochronologie U/Pb.....</b>	<b>62</b>	<b>Combustion directe de métaux en poudre pour les applications à densité énergétique élevée ...</b>	<b>66</b>
Christopher Lambert, Félix Gervais (Polytechnique), Abdelali Moukhsil (MERN), Jim Crowley (Boise State University)		Michelle McRae, Philippe Julien, Jeffrey M. Bergthorson (McGill)	
<b>Évaluation du potentiel géothermique aux Îles-de-la-Madeleine .....</b>	<b>62</b>	<b>Signature d'un gisement d'or dans le till à Amaruq (Nunavut) : échantillonnages distants du gisement .....</b>	<b>67</b>
Hubert Langevin, Félix-Antoine Comeau, Jasmin Raymond, Michel Malo (INRS-ETE)		Alexandre Mendizabal, Georges Beaudoin (UL), Isabelle McMartin (CGC-O), Olivier Côté-Mantha, Marjorie Simard (Mines Agnico Eagle)	
<b>Sous-province d'Opatca : nouveau territoire pour l'exploration minérale .....</b>	<b>63</b>	<b>Géologie et potentiel minéral de la région du lac des Commissaires, région du Lac-Saint-Jean.....</b>	<b>67</b>
Jérôme Lavoie (CONSOREM)		Abdelali Moukhsil, Yannick Daoudène (MERN)	
<b>Analyse discriminante par régression des moindres carrés partiels de la composition en éléments traces de l'or natif provenant de différents gîtes aurifères – Implications pour l'exploration minière .....</b>	<b>63</b>	<b>Les bénéfices environnementaux d'une rénovation du parc de logements québécois valent-ils leur coût? Une analyse de cycle de vie conséquentielle.....</b>	<b>68</b>
Haiming Liu, Georges Beaudoin (UL, E4m), Sheida Makvandi (COREM), Olivier Côté-Mantha (Mines Agnico Eagle), Émilie Bédard (UL, E4m)		Marianne Pedinotti-Castelle, Miguel F. Astudillo (LIRIDE, UdeS), Pierre-Olivier Pineau (HEC), Ben Amor (LIRIDE, UdeS)	

<b>Transition énergétique : comment modéliser les bénéfices des ruptures comportementales? .....</b>	<b>68</b>	<b>Apports de la géophysique à l'évaluation du potentiel en hydrocarbures du Témiscouata (Bas-Saint-Laurent).....</b>	<b>71</b>
Marianne Pedinotti-Castelle (LIRIDE, UdeS), Pierre-Olivier Pineau (HEC), Ben Amor (LIRIDE, UdeS)		Marc Richer-LaFlèche (INRS-ETE)	
<b>Caractérisation structurale de la Sous-province de Nemiscau, région du lac des Montagnes : implications sur le modèle tectonique.....</b>	<b>69</b>	<b>Accélération de l'oxydation et passivation des sulfures dans des stériles miniers afin de réduire le potentiel de génération de DNC.....</b>	<b>72</b>
Rocío Pedreira Pérez, Alain Tremblay (UQAM), Yannick Daoudene, Daniel Bandyayera (MERN)		Valérie Roy, Isabelle Demers, Benoît Plante (UQAT)	
<b>Géologie de la région de Barraute (32C05-NE), Abitibi .....</b>	<b>69</b>	<b>Efficacité des ferrates solides pour le traitement de l'As (III) dans un effluent synthétique fortement contaminé .....</b>	<b>72</b>
Pierre Pilote, Jonathan Marleau, Jean David (MERN), Réal Daigneault (CERM-UQAC), James Moorhead (MERN)		Thana Saffar, Marouen Jouini, Lucie Coudert, Carmen Mihaela Neculita (IRME UQAT-Polytechnique)	
<b>Metal Earth : vers une réévaluation pluridisciplinaire des modèles de genèse des gisements métallifères précambriens .....</b>	<b>70</b>	<b>La pierre architecturale exploitée au Québec.....</b>	<b>73</b>
Benoit Quesnel, Christophe Scheffer, Georges Beaudoin, Crystal LaFlamme, Carl Guilmette, Christian Dupuis (UL)		N'golo Togola (MERN)	
<b>Projet de cartographie des dépôts de surface des régions de Laval, des Laurentides et de Lanaudière : résultats préliminaires .....</b>	<b>70</b>	<b>Réactions métal-eau à haute température pour l'exploitation minière .....</b>	<b>73</b>
lyse Randour, Robert-André Daigneault (UQAM)		Keena A. Trowell, Samuel Goroshin, David L. Frost, Jeffrey M. Bergthorson (McGill)	
<b>Apports de la géochimie et de la géologie à l'évaluation du potentiel en hydrocarbures du Témiscouata (Bas-Saint-Laurent).....</b>	<b>71</b>	<b>Potentiel géothermique du cratère météoritique de Charlevoix .....</b>	<b>74</b>
Marc Richer-LaFlèche (INRS-ETE)		Maria Isabel Velez, Jasmin Raymond (INRS-ETE), Daniela Blessent (Universidad de Medellín)	
		<b>Identification des minéraux indicateurs par <math>\mu</math>XRF .....</b>	<b>74</b>
		Laurène-Marie Wavrant, Georges Beaudoin, Carl Guilmette (UL)	

## METAL EARTH à Chibougamau : origine du granophyre sodique du Complexe du Lac Doré (CLD) et des minéralisations associées, région de Chibougamau, Abitibi (Québec)

Youssef Ahmadou, Lucie Mathieu, Damien Gaboury (CERM-UQAC)

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la campagne de cartographie du transect sismique réalisé dans le cadre du projet *Metal Earth*, dans la région de Chibougamau. Elle vise à déterminer l'origine du granophyre sodique du Complexe du Lac Doré (CLD), la nature de son contact avec l'encaissant volcanique et la relation entre les minéralisations qu'il renferme et les systèmes hydrothermaux de la région de Chibougamau.

Les granophyres sont des roches felsiques observées dans la partie sommitale des intrusions litées mafiques de fort volume, au-dessus des niveaux lités riches en Fe, en Ti et en V. L'origine de ces unités felsiques est débattue par la communauté scientifique.

Le CLD est une importante intrusion litée (7 à 8 km d'épaisseur, 53 km de long) qui comprend, dans sa partie supérieure, une zone de granophyre riche en  $\text{Na}_2\text{O}$  et pauvre en  $\text{K}_2\text{O}$ . Il s'agit d'une tonalite massive à quartz + albite  $\pm$  magnétite, hôte de minéralisations de Cu-Au qui prennent la forme de fractures riches en sulfures et de veines de quartz  $\pm$  carbonate  $\pm$  pyrite  $\pm$  magnétite.

Le processus de formation du granophyre sodique pourrait correspondre : 1) à la différenciation d'un magma, 2) à la contamination d'un magma par les roches volcaniques felsiques encaissant le CLD ou 3) au produit de la fusion *in situ* des roches encaissantes. L'étude de l'origine du granophyre sodique du CLD permettra non seulement d'établir comment il se forme et à quel moment, mais également de le situer dans l'histoire métallogénique de la région de Chibougamau.

Ce poster présente les premiers résultats obtenus à la suite des travaux de terrain réalisés au cours de l'été 2018. La cartographie détaillée de quatre décapages dans deux secteurs minéralisés (Ramsey et Golden Moon) a permis d'observer des variations texturales et minéralogiques importantes au sein du granophyre sodique (présence d'un faciès à grain grossier riche en quartz et d'un faciès à grain fin plus riche en plagioclase). Dans le secteur de Ramsay, le faciès à grain grossier est en contact franc avec une rhyolite porphyrique de la Formation de Waconichi. Au moins quatre styles de minéralisations ont été observés : 1) fracture sulfurée; 2) veine rubanée de quartz  $\pm$  carbonate  $\pm$  pyrite  $\pm$  chalcopryrite; 3) veine de quartz fumé  $\pm$  carbonate  $\pm$  pyrite  $\pm$  chalcopryrite; 4) veine de quartz  $\pm$  carbonate  $\pm$  magnétite. Ces minéralisations s'accompagnent de halos d'altération à carbonate, à chlorite et à mica blanc.

## Modélisation et prévision de la demande d'électricité résidentielle

Fatima Amara (UQTR)

L'évolution des réseaux électriques intelligents (REI) favorise le développement des nouvelles techniques de gestion de la demande d'électricité résidentielle. Toutefois, dans la majorité des bâtiments résidentiels, ce rôle est non existant. Il est utile d'avoir un outil de prévision de la consommation électrique pour i) anticiper les besoins futurs en électricité et mieux gérer l'équilibre entre la production et la consommation pendant les périodes de pointe; ii) permettre au client de prendre des décisions en temps réel sur sa consommation et de gérer efficacement les modes d'opérations des charges; iii) optimiser les coûts de la consommation d'énergie.

Dans un bâtiment, les usages thermosensibles et le comportement des occupants sont des variables qui contribuent grandement à la demande de pointe pendant les périodes climatiques froides. Au cours de ces périodes, le réseau électrique fait face à des problèmes d'inadéquation importante dans l'offre et la demande d'électricité. À cette fin, de nombreuses approches ont été proposées dans la littérature scientifique pour répondre aux futurs objectifs de REI. Ce dernier va faire du consommateur un acteur ou un producteur majeur d'électricité à partir de nombreuses petites sources d'énergie intermittente.

Notre étude a pour objet d'établir un système de prévision de la demande d'électricité totale à court terme qui est adapté au contexte du territoire québécois. Elle propose une approche statistique non paramétrique afin de pouvoir expliquer, prédire et reproduire le comportement thermique d'un bâtiment résidentiel typique du Québec en fonction des facteurs climatiques et comportementaux des occupants.

Deux méthodes non paramétriques sont proposées en deux étapes pour reproduire le comportement thermique d'un bâtiment résidentiel. La première méthode est basée sur l'identification de la consommation thermosensible et la seconde utilise la variable calendaire pour capturer les variations périodiques de la demande d'électricité en fonction de l'heure et du jour de la semaine.

Le comportement énergétique du bâtiment a été modélisé en construisant une technique d'exploration de données. Cette dernière est basée sur une approche non paramétrique qui permet d'estimer la dépendance entre la consommation d'électricité et le gradient de température intérieure/extérieure de manière adaptative. Celle-ci considère les estimateurs par noyau, lesquels englobent les noyaux univariés et bivariés pour analyser les fonctions de densité conditionnelle. La construction de ce modèle fait appel à un minimum de données issues de campagnes de mesures de la puissance totale auprès du client et requiert moins de connaissances sur les caractéristiques physiques du bâtiment.

La deuxième méthode a été proposée dans le but de caractériser en ligne les moments de consommation d'électricité liés à l'utilisation des appareils électriques et aux activités des occupants. Le modèle produit une partie périodique des phénomènes non déterministes de la demande d'électricité connexe à la consommation liée aux habitudes des occupants, et non à la température extérieure. L'évaluation avec des données expérimentales permet une amélioration significative de 7 % de la précision totale de la demande d'électricité prévue sur un jour.

## **Biocarburants ou électrification? Analyse de différentes possibilités pour la transition énergétique du Québec**

**Miguel F. Astudillo (LIRIDE, UdeS), Kathleen Vaillancourt (ESMIA Consultants), Pierre-Olivier Pineau (HEC), Ben Amor (LIRIDE, UdeS)**

D'importantes réductions de gaz à effet de serre (GES) sont nécessaires pour limiter la hausse des températures globales à 1,5 °C. Ces réductions visent avant tout le secteur de l'énergie, le plus grand contributeur aux émissions de GES. Notre étude modélise une transition énergétique en lien avec les objectifs de l'accord de Paris, grâce à un modèle d'optimisation du système énergétique du Québec (NATEM-Québec) à l'horizon 2050. Les résultats illustrent quelles technologies devraient être adoptées pour fournir des services énergétiques à un coût minimal au Québec.

La transition proposée pour réduire les émissions de GES considère les biocarburants et l'électricité renouvelable. Les biocarburants sont utilisés d'abord en substitution des combustibles fossiles dans les moteurs thermiques qui seront éventuellement remplacés par des moteurs électriques. Les moteurs hybrides sont utilisés dans une phase de transition. L'éolien et l'hydroélectricité sont les options les moins coûteuses pour combler l'augmentation de la demande d'électricité. L'augmentation de la demande d'électricité est attribuée au secteur résidentiel (52 %), suivi par l'industrie (20 %) et le transport (11 %). En 2050, le secteur industriel deviendrait le plus grand consommateur d'électricité. Les réductions de GES causent une diminution des exportations d'électricité, ce qui peut entraîner une augmentation des émissions dans les régions voisines.

Les résidus forestiers seraient la principale matière première pour les biocarburants. Les objectifs de réduction des émissions de GES sont à l'origine d'une augmentation de l'usage de cette matière première, mais aussi des changements dans son utilisation. De combustible solide, cette matière est transformée par des procédés de bioraffinage qui permettent la production de combustibles liquides d'une plus grande densité énergétique.

L'analyse des options dans le secteur minier reste difficile à cause du manque de données fiables comme les statistiques gouvernementales sur le secteur.

## **Géologie et potentiel minéral de la région du lac des Montagnes, sous-provinces de La Grande, de Nemiscau et d'Opatca, Eeyou Istchee Baie-James**

**Daniel Bandyayera, Emmanuel Caron-Côté (MERN)**

Le levé géologique de la région du lac des Montagnes, effectué durant l'été 2018, couvre un secteur situé à environ 200 km au nord-ouest de Chibougamau. La partie nord de la région cartographiée correspond à l'extension vers le sud de la Sous-province de La Grande, soit les roches intrusives du Complexe de Champion, les plutons de Valiquette et de Quindèle ainsi que les roches volcano-sédimentaires des formations de Natel et d'Auclair. La partie sud comprend les roches intrusives du Complexe de Théodat de la Sous-province d'Opatca. La partie centrale, assignée à la Sous-province de Nemiscau, est constituée de roches sédimentaires et volcaniques, métamorphisées au faciès des amphibolites, montrant des structures primaires bien préservées. On y trouve également des intrusions mafiques-ultramafiques assignées à la Suite de Caumont.

Les roches archéennes des sous-provinces de La Grande et d'Opatca sont séparées de la Sous-province de Nemiscau par les zones de cisaillement de la Rivière Rupert et d'Albanel, respectivement. La déformation au sein du La Grande et de l'Opatca est relativement homogène, caractérisée par une foliation pénétrative à fort pendage orientée E-W à NE-SW. L'ensemble rocheux de la Sous-province de Nemiscau est caractérisé par une déformation pénétrative orientée NE-SW et par une géométrie en dômes et bassins.

Nos travaux montrent que les zones de contact déformées et cisailées Nemiscau-La Grande, au nord, et Nemiscau-Opatca, au sud, constituent d'importants métalotectes régionaux, au même titre que la bordure entre l'Opatca et le La Grande. Au sud de la Sous-province de Nemiscau, de vastes zones kilométriques d'altération métasomatique et de bréchification hydrothermale intense ont été mises au jour. Ces zones constituent des cibles importantes pour les minéralisations en Au, en Ag et en Cu.

La région est connue pour son potentiel en lithium, associé aux pegmatites blanches à spodumène. Le plus important des dépôts est le gîte Whabouchi, dont les ressources mesurées et indiquées s'élèvent à 25,1 Mt, avec des teneurs de 1,54 % Li<sub>2</sub>O et 140 ppm BeO.

Des zones favorables aux minéralisations de Ni-Cu (± EGP-Co-Cr), associées aux intrusions d'extension kilométrique de roches mafiques-ultramafiques de la Suite de Caumont, ont aussi été mises au jour. Un gîte de ce type est connu, celui de Nisk-1, formé de lentilles de sulfures massifs dans les péridotites, dont les ressources mesurées estimées sont de 1 255 000 t à 1,09 % Ni, 0,56 % Cu, 0,07 % Co, 1,1 g/t Pd et 0,2 g/t Pt. Certaines intrusions ultramafiques contiennent des lits métriques de chromitite contenant jusqu'à 30,36 % Cr [indice du Lac des Montagnes-sud].

## Géologie et potentiel minéral de la région du lac Cadieux, sous-provinces d'Opatoca et d'Opinaca, Eeyou Istchee Baie-James

Anne-Marie Beauchamp, Frédéric Massei (MERN)

Une nouvelle carte géologique de la région du lac Cadieux (feuillet 33A02, 33A07 et 33A03 NE) a été produite à la suite d'un levé réalisé au cours de l'été 2018. La cartographie a permis de préciser la limite entre les sous-provinces d'Opatoca et d'Opinaca. Dans la partie nord du feuillet 33A02, de nouveaux lambeaux de roches supracrustales, logés à l'intérieur du bassin métasédimentaire de l'Opinaca, sont interprétés comme des fenêtres structurales de roches de l'Opatoca.

Les travaux ont aussi permis de définir plusieurs zones favorables d'un point de vue métallogénique. La cartographie géologique détaillée des unités de la Ceinture de roches vertes de la Haute-Eastmain révèle la présence de veines aurifères et de niveaux exhalatifs stratiformes à proximité des filons-couches mafiques-ultramafiques de la Formation de Dolent. La zone de contact entre le Batholite de MacLeod et les paragneiss du Complexe de Laguiche constitue un métallotecte de premier ordre pour les minéralisations en Cu-Mo ± Ag ± Au. Par ailleurs, la Suite mafique-ultramafique de Sorbier et la Suite ultramafique de Dominique, reconnues lors de nos travaux, constituent des lithologies favorables aux minéralisations de Ni-Cu (± Co ± EGP). Du spodumène a été identifié dans une pegmatite du Granite de Wahemen. Enfin, les granitoïdes greisenifiés de la Suite intrusive de Digne pourraient être des cibles intéressantes pour la découverte de minéralisations en Sn et en W.

## Cartographie du transect de Chibougamau, projet Metal Earth : styles structuraux de la Faille de Barlow et du bassin de Chebistuan

Pierre Bedeaux, Lucie Mathieu, Réal Daigneault (CERM-UQAC)

Dans le cadre du projet Metal Earth, la région de Chibougamau a fait l'objet d'une campagne de cartographie géologique pendant l'été 2018 afin d'appuyer un levé sismique long de 162 km. La région de Chibougamau fait partie d'une ceinture de roches vertes composée de deux cycles volcaniques surmontés de dépôts sédimentaires d'âge néoarchéen. L'ensemble est recoupé par plusieurs suites intrusives synvolcaniques à tarditectoniques. Le grain tectonique est orienté E-W et dominé par des plis E-W associés à une schistosité régionale.

Au nord de la région, la Faille de Barlow constitue un réflecteur sismique de premier ordre et semble avoir une influence significative sur l'histoire de la déformation régionale, puisqu'elle met en contact la Formation de Chebistuan, l'un des assemblages archéens parmi les plus jeunes de la région (env. 2700 Ma), avec plusieurs types de roches volcaniques, intrusives et sédimentaires d'âges variés et plus anciens. Le mouvement le long de la faille n'est pas connu et son style structural est hétérogène longitudinalement.

L'objectif de l'étude est d'approfondir nos connaissances sur la Faille de Barlow, notamment de déterminer son mouvement ainsi que son influence sur l'architecture du secteur. La faille borde le nord de la Formation de Chebistuan, encaissée dans un bassin formant le cœur d'un synclinal E-W dans la partie nord de la région. La Formation de Chebistuan est constituée de séquences de grès et de conglomérats polygéniques à fragments jointifs présentant de nombreuses inversions de polarité à l'échelle du bassin. Les roches sont fortement déformées et reprises par une schistosité régionale E-W qui est parallèle au litage. Le degré de déformation s'intensifie à quelques centaines de mètres de la Faille de Barlow. Le métamorphisme est au faciès schistes verts supérieur et augmente au faciès des amphibolites à proximité de la faille et des intrusions associées au Pluton de Chevrillon qui recourent les roches sédimentaires. La Faille de Barlow est large de plusieurs centaines de mètres et son pendage varie de subvertical à faiblement incliné vers le sud (15°). Selon des indicateurs de sens de cisaillement, le mouvement est inverse. Au nord de la faille, les roches volcaniques mafiques sont au faciès des amphibolites, ce qui semble au contraire démontrer un mouvement le long du plan de faille. Les travaux futurs viseront à caractériser les conditions P-T du métamorphisme de part et d'autre de la faille et à interpréter le mouvement et l'importance de la Faille de Barlow dans l'histoire de la déformation régionale.

[Numéro de contribution Metal Earth MERC-ME-2018-051]

## Contrôles lithologiques et structuraux relatifs à la nature, au style et à la géométrie des zones aurifères de la zone 5 du complexe minier LaRonde, Abitibi, Québec

Émile Boily-Auclair (INRS-ETE), Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Pierre-Simon Ross (INRS-ETE), David Pitre (Mines Agnico Eagle)

Le projet LaRonde zone 5 (LZ5) se trouve dans le camp minier de Doyon-Bousquet-LaRonde (DBL), au sein du Groupe de Blake River, dans la partie sud de l'Abitibi. Il est l'hôte de la zone 5 (~15 Mt à 1,9 g/t Au, soit ~28 tonnes d'or ou 0,9 million d'onces en réserves et ressources combinées au 31 décembre 2017), qui faisait antérieurement partie du gisement Bousquet 1 (~39,5 tonnes d'or ou 1,27 million d'onces produites de 1978 à 1996). La zone 5 a été en partie exploitée par Minerai Lac et Barrick Gold dans les années 1980 et 1990. Récemment, elle a fait l'objet de nouveaux travaux d'exploration et de développement et est exploitée par Mines Agnico Eagle depuis 2018.

La lentille de la zone 5 est encaissée dans une succession d'unités volcaniques et volcanoclastiques (tufs et tufs à lapillis et à blocs) de composition mafique à felsique, correspondant au Membre inférieur de la Formation de Bousquet. Les assemblages d'altération sont dominés par la chlorite, la séricite et les carbonates de fer. Les roches sont très déformées et fortement altérées. Une schistosité régionale E-W à pendage vers le sud (~80° à 90°) est présente dans les roches hôtes et les zones minéralisées. La polarité stratigraphique est vers le sud.

La zone 5 se trouve dans les roches basaltiques à andésitique de l'unité hétérogène de Bousquet, située dans le Membre inférieur de la Formation de Bousquet, et diffère des autres lentilles exploitées aux mines Bousquet no 1, Bousquet no 2 et LaRonde, lesquelles sont associées au Membre supérieur de la Formation de Bousquet. Elle se distingue aussi des autres lentilles et gisements du camp de DBL par la présence de carbonates dans les assemblages d'altération. Le style de la minéralisation est contrasté, sous forme de réseaux discordants de veinules de pyrite millimétriques à centimétriques (10-20 %) et, en moindre mesure, de pyrite très finement disséminée, en amas et/ou en fragments centimétriques allongés ( $\leq 10$  %). Des quantités mineures ou des traces de chalcopryrite, de sphalérite et de pyrrhotite sont présentes. L'or est sous forme native, en inclusion dans la pyrite.

La cartographie détaillée sous terre et des forages à l'été 2018, la compilation des données, l'analyse pétrographique et lithogéochimique des échantillons prélevés ainsi que la modélisation en 3D du gisement permettront de définir la nature des zones aurifères de la zone 5 et d'établir l'importance relative des principaux éléments exerçant un contrôle sur la distribution de la minéralisation à diverses échelles.

## Metal Earth à Chibougamau, stratigraphie, chimie et âge de la Formation d'Obatogamau

Adrien Boucher, Lucie Mathieu, Réal Daigneault (CERM-UQAC)

La Formation d'Obatogamau est une unité volcanique de grande étendue située dans la région de Chibougamau. Elle appartient au Groupe de Roy, qui comprend la majeure partie de l'assemblage volcanique de la région, et correspond à la base du premier des deux cycles volcaniques qui constituent ce groupe. La formation est essentiellement constituée de laves mafiques qui contiennent de 0 à 15-20 % de macrocristaux de plagioclase centimétriques. Cette formation est reconnue sur plus de 100 km, depuis le Front du Grenville à l'est jusque dans le secteur de Desmaraisville à l'ouest.

Outre que les laves mafiques sont d'affinité tholéitique et que leur composition chimique varie de basaltique à andésitique, les variations de composition au sein de la séquence, la nature des niveaux felsiques intercalés entre les coulées et le potentiel pour les gisements de type SMV de cette unité restent peu étudiés. Aucune datation directe n'a été effectuée dans la Formation d'Obatogamau qui s'intercale entre la Formation de Waconichi et les formations des Vents et de Chrissie, dont l'écart d'âge est d'au moins 30 Ma. L'origine des macrocristaux et leurs conditions de formation sont peu comprises. La Formation d'Obatogamau est définie sur la reconnaissance de ces macrocristaux, qui pourraient toutefois être présents dans la Formation de Chrissie. Une étude plus approfondie permettrait de mieux différencier la Formation d'Obatogamau des cycles volcaniques plus anciens.

À l'été 2018, la séquence a été échantillonnée de la base au sommet, à partir d'une traverse effectuée au nord du Complexe d'Eau Jaune, afin d'étudier l'hétérogénéité verticale des faciès. Plusieurs interruptions dans le volcanisme effusif mafique ont été décrites le long de cette traverse. Elles prennent la forme de minces niveaux intercalés entre les basaltes, soit de tuf graphiteux, d'argilite ou des horizons chertueux riches en pyrite.

D'autres secteurs ont aussi été visités pour avoir un aperçu des variations chimiques et pétrologiques latérales au sein de la Formation d'Obatogamau. Là encore, des interruptions dans le volcanisme ont pu être observées dans la séquence de laves. Elles prennent la forme de niveaux rhyolitiques massifs, qui ont été échantillonnés pour datation U-Pb sur zircon, et de tufs à lapillis et de tufs à cristaux qui, dans un cas, ont été interprétés comme l'interdigitation de la Formation de Waconichi avec le sommet de la Formation d'Obatogamau.

[Contribution Metal Earth numéro MERC-ME-2018-052]

## Inventaire des ressources en granulats de la région de Matane

**André Brazeau (MERN), Sébastien Larente-Marcotte (UL), Yvon-Pépin Tekeundeu-Kamahe (UQAC)**

Durant l'été 2018, des travaux d'inventaire des ressources en granulats ont été effectués dans la région de Matane.

Ces travaux ont couvert, en partie ou en totalité, les feuillets SNRC 22B11, 22B12, 22B13, 22B14, 22B15, 22G01, 22G02, 22H03 et 22H04 à l'échelle 1/50 000. Ils font suite aux travaux effectués en 2017 dans le secteur de Rimouski. Les résultats vont permettre de localiser et de caractériser les sources en granulats d'une partie de la Gaspésie et d'en évaluer l'importance.

Les activités de terrain ont consisté en de nombreux sondages à la pelle et en visites de sablières, de gravières, de coupes naturelles et de déblais de route. Plus de 160 sites ont été explorés et 44 échantillons de sable ou de gravier ont été prélevés et expédiés en laboratoire pour déterminer leurs propriétés physico-mécaniques.

Le socle rocheux appartient à la Province géologique des Appalaches. On y trouve une grande diversité de roches sédimentaires, volcaniques et intrusives. Ces roches ont été déformées à différents degrés et une importante schistosité y est développée.

Les dépôts susceptibles de fournir des granulats sont d'origine marine ou fluvioglaciale. Plusieurs d'entre eux ont été exploités intensivement et sont aujourd'hui pratiquement épuisés.

Les granulats de la région sont de qualité très variable. Les matériaux, qui ont été arrachés du socle par l'action des glaciers, reflètent bien la grande diversité des roches sous-jacentes. L'abondance de matériaux schisteux dans les matériaux granulaires devrait nuire à la qualité des granulats.

## Contexte de la déformation et du métamorphisme de la Faille de Barlow, Chibougamau, Québec

**Antoine Brochu, Pierre Bedeaux, Réal Daigneault (CERM-UQAC)**

La présente étude avait pour but d'établir le contexte de la déformation et du métamorphisme de la Faille de Barlow, dans la région de Chibougamau, au Québec. Notamment, elle visait à déterminer le mouvement de la faille (inverse ou normal) et le moment de sa mise en place (précoce ou tardive par rapport à la tectonique régionale) et à caractériser les discontinuités stratigraphiques du secteur. Les récents travaux géophysiques effectués dans le cadre du projet Metal Earth à Chibougamau semblent démontrer que la Faille de Barlow est un important réflecteur géophysique dans la région. La présence d'une faille importante dans ce secteur n'est pas typique de la région de Chibougamau, où les principales phases de déformation sont davantage associées au plissement. La Faille de Barlow met en contact les formations d'Obatogamau au nord et de Chebistuan au sud. Une schistosité à pendage subvertical vers le sud lui est associée et son mouvement demeure inconnu.

Dans le secteur à l'étude, la faille possède des caractéristiques atypiques. Elle a un pendage subhorizontal vers le sud et met en contact le Groupe de Chebistuan au sud avec la Suite intrusive du Cummings et la Formation de Blondeau au nord. Les travaux de cartographie réalisés à l'été 2018 ont permis d'identifier les différentes lithologies et de recueillir des données structurales ainsi que des informations sur le degré de métamorphisme. Au total, 53 affleurements ont été visités, 104 mesures structurales prises et 44 échantillons prélevés. De ces échantillons, après sélection, 14 lames minces orientées ont été réalisées.

Le métamorphisme semble passer du faciès des amphibolites au nord de la Faille de Barlow au faciès des schistes verts supérieur au sud, suggérant que la faille a un mouvement normal. On observe également des discontinuités stratigraphiques liées à la présence d'écailles (Suite intrusive du Cummings, formations de Blondeau et de Chebistuan) mises en place lors du mouvement de la Faille de Barlow. La variation de pendage dans le secteur à l'étude (subhorizontal dans la portion centrale, subvertical à l'est et à l'ouest) pourrait être expliquée par la présence de ces écailles.

## Composition chimique de la chalcopirite comme critère discriminatoire du type de gîtes à l'échelle mondiale

Enzo Caraballo, Georges Beaudoin (UL)

La chalcopirite, un des sulfures les plus répandus dans les gisements à l'échelle mondiale, est constituée principalement de fer et de cuivre. Cependant, sa composition en éléments en traces est très variable. Ces éléments sont présents dans les sulfures de plusieurs manières, soit dans les inclusions solides ou fluides, en substitutions interstitielles ou bien dans les lamelles d'exsolution. Avec des propriétés physiques qui facilitent sa préservation, sa concentration et son identification dans les systèmes exogéodynamiques, tels que les environnements fluviatiles ou glaciaires, la chalcopirite offre une possibilité en tant que minéral indicateur des différents types de gîtes et pourrait devenir un vecteur en exploration minière. Ce projet de recherche a comme objectif de déterminer les critères touchant la composition de la chalcopirite qui permettront de reconnaître le type de gîtes auquel celle-ci est associée. Ces critères seront reconnus et définis à partir de méthodes statistiques multivariées effectuées sur un ensemble de données géochimiques en éléments en traces. L'identification des assemblages minéralogiques et l'analyse des textures seront réalisées au microscope optique à lumière réfléchie et au microscope électronique à balayage. La composition chimique sera déterminée avec un spectromètre de masse à plasma induit couplée à l'ablation laser (LA-ICP-MS) et un spectromètre de masse à ions secondaires (SIMS). Les données seront traitées par des analyses en composantes principales (ACP), une classification de données (*cluster analysis*) et des analyses discriminantes (AD) afin de déterminer les tendances et les relations parmi les variables de composition en fonction des types de gîtes.

## Effet de la température sur la mobilité des éléments potentiellement problématiques présents dans les résidus issus de l'extraction de terres rares

Sophie Costis, Jean-François Blais (INRS-ETE), Lucie Coudert, Carmen Mihaela Neculita (IRME UQAT-Polytechnique), Kristin Mueller, Emmanuelle Cecchi (INRS-ETE)

Les éléments de terres rares (ETR) sont utilisés dans de nombreuses applications et suscitent de plus en plus d'intérêt. Bien que la Chine ait un quasi-monopole sur la production des ETR, d'autres producteurs potentiels commencent à émerger. Le gisement d'ETR d'Asram est l'un de ces projets considérés comme ayant un fort potentiel de développement. Située dans le nord du Québec, en un climat subarctique (forte précipitation, température extrême, période de gel et de dégel), la roche d'intérêt est une carbonatite qui contient environ 1,9 % d'oxydes de terres rares totaux.

La contamination liée à la production d'ETR est connue et doit être contrôlée. Les principaux contaminants qui peuvent être rencontrés dans les résidus miniers sont les éléments radioactifs, les métaux et les composés organiques. Les autres effets indésirables sont une turbidité importante des rejets liquides provenant du traitement et, pour finir, la libération de poussières et des polluants associés (Weber et Reisman, 2012). Par ailleurs, la toxicité des ETR est encore peu étudiée.

Dans ce contexte, l'objectif principal de notre étude est d'évaluer le potentiel de lixiviation des éléments présents dans les résidus issus de l'extraction des minéraux de terres rares, et ainsi mieux cibler la contamination. Pour ce faire, une caractérisation physico-chimique et minéralogique détaillée ainsi que des essais cinétiques en mini-cellules d'altération ont été réalisés. Puisque la mine envisagée serait située dans une région au climat subarctique, les essais ont été effectués à deux températures (19 et 4 °C). Des études antérieures ont montré que la température est un facteur ayant une influence majeure sur la lixiviation des éléments présents au sein des minéraux (Boulanger-Martel, 2016; Elberling, 2000 et 2005; Éthier, 2011). Les critères de qualité des eaux de surface (toxicité aiguë) sont plus stricts en climat nordique, où la dureté du milieu récepteur est plus faible, diminuant ainsi les valeurs de ces derniers. Ainsi, certains éléments jugés « non contaminants » dans un climat tempéré peuvent l'être dans un climat subarctique (MDDEFP, 2013).

Finalement, nos résultats seront comparés à ceux obtenus récemment sur une roche de type carbonatite contenant des ETR (Edahbi *et al.*, 2018a, 2018b et 2018c), qui provient d'un autre projet au Québec, résultats qui mettent en évidence la mobilité des ETR, mais aussi les facteurs pouvant influencer ce phénomène.

## Caractéristiques environnementales des rejets miniers et du drainage provenant d'un gisement de niobium de type carbonatite, Oka, Québec

Alexandre J. Desbarats, Jeanne B. Percival,  
Katherine E. Venance (CGC-O), Michael B. Parsons (CGC-A)

Avec l'émergence des technologies vertes, il y a une demande croissante pour les métaux critiques tels que le niobium (Nb) et les éléments de terres rares (ETR). Ces métaux se retrouvent notamment dans les carbonatites, un type de gisement intrusif formé essentiellement de carbonates. Cependant, les effets environnementaux causés par l'exploitation minière de carbonatites sont peu connus. L'étude des rejets miniers et des eaux de drainage de l'ancienne mine Saint-Lawrence Columbiun (SLC) près d'Oka, où le Nb sous forme de pyrochlore a été extrait d'une carbonatite, devrait nous permettre d'en savoir plus sur ces effets. Le site SLC comprend des haldes de stériles, un parc à résidus de traitement, une halde de scories produites par la transformation de pyrochlore en ferroniobium et deux fosses inondées. Les résidus sont composés de calcite (80 %) et, en quantité mineure, de biotite, de fluorapatite, de diopside et de niocalite. Le pH et la composition en ions majeurs des eaux interstitielles seraient contrôlés par la solubilité de la calcite et du gypse. Les concentrations en fluorure (F) augmentent avec la profondeur et peuvent dépasser 20 mg/l. Dans l'eau de drainage du parc à résidus, la concentration moyenne en F est d'environ 9 mg/l, soit 75 fois la valeur limite pour la protection de la faune aquatique de 0,12 mg/l. Par contre, les concentrations en uranium (U) dans les eaux interstitielles et de drainage sont faibles (< 4 µg/l). Les scories de ferroniobium sont composées de hibonite, de vésuvianite, de grossite, de gibbsite et, en quantité moindre, de pérovskite et d'uraninite. Ces scories sont relativement radioactives. Le taux de dose est en moyenne de 14 µSv/h et peut atteindre 23 µSv/h. Un test de lixiviation effectué sur les scories indique que le lixiviat a un pH de 9, des concentrations en Al entre 5,5 et 8,2 mg/l, en F entre 18 et 46 mg/l et en U entre 16 et 65 µg/l. Un profilage géochimique des fosses inondées a révélé la présence de chimioclines à une profondeur de 30 m. Dans une des fosses, il y a une zone anoxique sous-jacente où on note la présence de H<sub>2</sub>S et des concentrations en Mn et en U atteignant respectivement 9 mg/l et 16 µg/l. Les résultats de notre étude serviront dans les futures évaluations environnementales pour améliorer les prévisions et les mesures de mitigation lors de l'exploitation de métaux critiques dans les carbonatites.

## Application du réacteur plasma pour le traitement de pegmatite riche en lithium

Colin Dessemond, Francis Lajoie-Leroux, Gervais Soucy (UdeS), Nicolas Laroche, Jean-Francois Magnan (NMX)

Le lithium se trouve sous forme de spodumène (LiAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) qui contient jusqu'à 8 % d'oxyde de lithium (Li<sub>2</sub>O). Le produit principal du traitement du spodumène est l'hydroxyde de lithium hydraté (LiOH.H<sub>2</sub>O) qui est très utilisé pour des applications dans les piles au lithium-ion. Afin de produire le LiOH.H<sub>2</sub>O, la structure cristalline du spodumène doit être convertie de la phase alpha à bêta; il s'agit de l'étape de décrépitation où le minerai est traité dans un four rotatif chauffé à environ 1050 °C par un brûleur au gaz. Cependant, la faible efficacité énergétique du brûleur et la génération de gaz de combustion (CO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>) font de ce procédé une étape limitante dans le traitement de ce minerai.

Ce projet a pour objectif d'accroître l'efficacité du traitement de conversion du spodumène (sa décrépitation) en utilisant un réacteur plasma. Après décrépitation, les processus de cuisson avec de l'acide sulfurique et de lixiviation des échantillons produits par plasma seront effectués selon la méthode traditionnelle afin d'évaluer l'efficacité de la conversion. De plus, les techniques de caractérisation des matériaux, notamment la quantification des phases par analyse Rietveld, seront développées. Étant donné que les transferts de chaleur sont beaucoup plus rapides par plasma, il est prévu d'obtenir une conversion plus rapide du spodumène, tout en réduisant la formation de CO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub>. Une meilleure compréhension de l'interaction thermo-chimique entre les particules solides et le plasma hautement réactif sera réalisée.

Le projet servira de base pour établir un nouveau centre d'excellence dans ce secteur en formant le personnel hautement qualifié nécessaire pour soutenir l'industrie du lithium au Québec. Par ailleurs, la diminution de la consommation de carburant et des résidus de combustion auront un impact positif sur l'environnement. Nemaska Lithium qui développe actuellement son projet de mine de lithium dans la région d'Eeyou Istchee Baie-James (province de Québec) est le partenaire industriel de ce projet.

## Surveillance microsismique des mines en temps réel

Ana Cecilia Dip, Bernard Giroux, Erwan Gloaguen (INRS-ETE)

En raison de l'épuisement des mines plus superficielles, l'exploitation minière à grande profondeur est devenue de plus en plus importante au cours des dernières années. L'extraction de la roche génère des cavités, menant à des contraintes élevées autour de l'excavation qui peuvent causer des ruptures dans le massif rocheux, surtout à grande profondeur. Des cas extrêmes de dégagement d'énergie peuvent provoquer de violentes explosions de roches qui entraînent des décès et des blessures chez le personnel et des dommages aux structures de la mine.

La microsismique permet une vaste gamme d'applications, y compris la prédiction des éboulements et la détection des régions dangereuses et ses niveaux de danger. Les systèmes de surveillance microsismique sont utilisés en mécanique des roches dans les mines, car ils sont capables de détecter des ruptures de roches à proximité d'excavations souterraines, lesquelles sont provoquées par la libération soudaine d'énergie de déformation en raison de la redistribution des contraintes autour des ouvertures.

La surveillance de l'activité microsismique d'une mine requiert deux éléments clés : un bon modèle de vitesse sismique pour prévoir la localisation des événements et une bonne façon d'intégrer chaque nouvel événement causé par l'activité minière. Nos travaux visent à développer une méthode innovante et efficace de mise à jour du modèle de vitesse pour pouvoir surveiller la mine en temps réel et, en connaissant ses propriétés mécaniques, à élaborer un outil pour prendre les décisions liées, entre autres, à la sécurité des travailleurs et à la production.

Cette recherche comprend deux étapes :

- premièrement, l'intégration par simulation gaussienne séquentielle (SGS) des modèles de vitesse à différentes résolutions (journaux de forage, mesures microsismiques, mesures sur échantillons), pour générer un ensemble de modèles stochastiques à partir de ceux-ci;
- deuxièmement, la mise à jour de ces modèles en ajoutant en temps réel les nouveaux événements microsismiques à travers le filtre Ensemble Kalman (EnKF). Grâce à la rapidité du filtre EnKF, il est possible de faire une mise à jour en temps réel et de surveiller les changements de vitesse dans le sous-sol.

En plus de localiser des hypocentres, cette méthode permet de voir où la vitesse change afin de mettre en évidence les zones où le massif rocheux subit des contraintes et, par conséquent, susceptibles de rompre.

## Principaux contrôles primaires et structuraux sur la nature et la distribution de l'or et de l'argent dans les zones minéralisées du projet B26, Groupe de Brouillan-Fénélon, Abitibi, Québec

Quentin Fayard (CERM-UQAC), Patrick Mercier-Langevin (CGC-Q), Serge Perreault (SOQUEM), Réal Daigneault (CERM-UQAC)

Le projet B26 de SOQUEM se situe à 5 km au sud de l'ancienne mine Selbaie, dans la Zone volcanique nord de la Ceinture de roches vertes archéennes de l'Abitibi. Le gîte est encaissé dans un empilement de roches volcaniques felsiques à intermédiaires, majoritairement calco-alcalines, assignées au Groupe de Brouillan-Fénélon, à proximité du contact avec les unités mafiques tholéitiques du Groupe d'Enjalran-Bapst au sud. Les zones minéralisées et les roches hôtes, à sommet vers le sud, ont subi un important raccourcissement N-S. Ce raccourcissement est associé à une forte schistosité E-W à fort pendage vers le sud. Les zones minéralisées ont également subi un étirement (plongée de 55 à 60° vers l'ouest) qui est parallèle à la linéation d'étirement associée à la schistosité E-W.

Le gîte B26 se démarque par un enrichissement relativement important en Au et en Ag dans des secteurs spécifiques. La nature des métaux précieux et les contrôles sur leur distribution demeurent mal compris. Notre étude vise à définir les différents styles de minéralisation et les associations métalliques, puis à déterminer l'importance relative des principaux facteurs primaires et/ou secondaires qui ont exercé un contrôle sur la distribution et la géométrie des zones à métaux précieux et usuels.

Le gîte B26, associé à un large halo d'altération à muscovite-chlorite, montre une zonalité bien développée du nord (base) vers le sud (sommet). Des veines de chalcopryrite ± pyrite semi-massives à massives, communément associées à une gangue de quartz-carbonate, forment une zone à Cu-Au à la base du système, dans laquelle l'or apparaît en grains libres de 15 à 250 µm dans la chalcopryrite et la gangue. Une lentille de sulfures massifs à Zn-Pb riche en Ag se trouve à quelques dizaines de mètres plus haut dans la stratigraphie. Au-dessus de la lentille de sulfures massifs, une rhyolite aphanitique contient de la sphalérite, de la pyrite et de l'argent natif en remplacement préférentiel de certains niveaux volcanoclastiques. Cette rhyolite de l'éponte supérieure est aussi recoupée par des veines de percement tardives à Zn-Pb-Ag ainsi que par des veinules d'argent natif en remplissage de fractures perpendiculaires à la schistosité.

Les résultats préliminaires indiquent que l'architecture du gîte est contrôlée par une combinaison de facteurs lithologiques, hydrothermaux et structuraux. Les observations réalisées jusqu'à maintenant sont en accord avec une origine synvolcanique des minéralisations suivie, localement, d'une remobilisation polyphasée des métaux précieux synchrone à tardive par rapport à la déformation principale.

## Carbonatation minérale par la complexation du fer en utilisant la 2,2-bipyridine comme ligand

Javier Fernandez Reynes (INRS-ETE)

Le réchauffement climatique est l'un des principaux problèmes en matière d'environnement de la dernière décennie. Depuis la révolution industrielle, les émissions mondiales ont augmenté de façon exponentielle. Entre 1970 et 2004, cette augmentation est de 70 %.

De nombreuses recherches ont porté sur les moyens de réduire les émissions de GES, notamment le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ , environ 75 % de toutes les émissions de GES). Au Québec, en raison de la proximité des installations industrielles (émettrices de  $\text{CO}_2$ ) et de certaines mines, la carbonatation minérale (CM) pourrait constituer l'une des meilleures options de captage du carbone. Ce procédé consiste en une réaction entre le  $\text{CO}_2$  (aq) et un cation alcalin ou alcalino-terreux ( $M = \text{Mg}, \text{Ca}$  et  $\text{Fe}$  principalement sous leur forme  $M^{2+}$ ) provenant d'un silicate afin de précipiter un carbonate ( $\text{MCO}_3$ ) pouvant être réutilisé ou éliminé.

La CM a été testée avec des minéraux alcalino-terreux tels que la serpentine ( $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_5[\text{OH}]_4$ ), l'olivine (forstérite,  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) et la wollastonite, en raison de leur potentiel élevé de séquestration du carbone. En plus des minéraux mentionnés, quelques études ont vérifié la CM de la fayalite ( $\text{FeCO}_3$ ), mais tous les procédés exigent des conditions extrêmes de température et de pression qui ne pourraient être utilisées à l'échelle industrielle.

Le principal problème de cette CM est d'éviter la précipitation d'hydroxyde de fer qui nuit à la précipitation de la sidérite ( $\text{FeCO}_3$ ). Parmi toutes les options possibles pour éviter la précipitation d'hydroxyde, la complexation du fer à l'aide de ligands semble une option simple, rapide et efficace.

Une nouvelle méthode de CM a été testée par complexation du fer en utilisant la 2,2-bipyridine comme ligand pour obtenir le complexe stable  $[\text{Fe}(\text{bipy})_3]^{2+}$  qui empêche la précipitation d'hydroxyde du fer et permet, en réaction avec le  $\text{CO}_2$ (aq) dans un milieu basique, la formation de carbonate de fer. Premièrement, la stabilité du complexe pendant sept jours, avec des pH entre 1 et 12, a été étudiée en utilisant la spectroscopie ultraviolet-visible (UV-Vis). Après, le  $\text{CO}_2$ (aq) a été mis en réaction avec le  $[\text{Fe}(\text{bipy})_3]^{2+}$  à différentes conditions de température (25, 60 et 80 °C) et de pH (9-12). L'analyse du carbone inorganique total (TIC) par ICP-OES a permis de suivre l'efficacité de la réaction. Les échantillons de précipité ont été analysés par microscopie électronique à balayage-spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie SEM-EDS, CHNS et ICP-OES pour vérifier la présence de carbonate.

## Contrôle structural de la minéralisation aurifère à la mine Éléonore et à l'indice Cheechoo, Eeyou Istchee Baie-James, Province du Supérieur, Québec

Arnaud Fontaine (INRS-ETE), Benoît Dubé (CGC-Q), Michel Malo (INRS-ETE), Vicki McNicoll, Simon Jackson (CGC-O), Nathalie Prudhomme (Goldcorp), Jordi Turcotte, Dominique Doucet (Ressources Sirios)

La mine Éléonore, dans la municipalité d'Eeyou Istchee Baie-James, est un gisement aurifère de classe mondiale (~7 Moz). Encaissé principalement dans des roches sédimentaires (<2675 Ma), le gisement est situé à 1,5 km au sud du contact tectono-métamorphique interprété entre les sous-provinces d'Opinaca (paragneiss, migmatites et intrusions) et de La Grande (socle mésoarchéen, ceintures volcano-sédimentaires et intrusions). L'indice aurifère Cheechoo a été découvert à 15 km au sud-est de la mine Éléonore. En définissant les relations stratigraphiques ainsi que les événements structuraux (D1 à D3) en lien avec les épisodes de métamorphisme et de magmatisme associés au système hydrothermal aurifère, il a été possible d'étudier le contrôle structural de la minéralisation aurifère. Cette approche s'appuie sur une cartographie détaillée en surface et sous terre, la description de carottes de forage, la modélisation en 3D et la géochronologie U-Pb. Les zones minéralisées d'Éléonore présentent une diversité de styles de minéralisation, notamment : i) un stockwerk de quartz; des veinules de dravite avec microcline, des zones de remplacement de phlogopite avec de la pyrrhotite, de l'arsénopyrite et de la löllingite (zones 5050 et 5010); ii) des veines de quartz, d'actinote, de diopside, d'hedenbergite, de muscovite, de schorl, d'arsénopyrite-löllingite-pyrrhotite, des brèches hydrothermales et des schistes à amphibole et à biotite (zones 6000, 7000, 8000 et Hangingwall); iii) du minerai à haute teneur métamorphisé plus atypique dans des paragneiss (par exemple, la zone 494) ainsi que des zones de remplacement à basse teneur et des dykes de pegmatite (zone Nord). La minéralisation aurifère de Cheechoo, encaissée dans une intrusion tonalitique à granodioritique (2612 Ma), est caractérisée par un réseau de veines de quartz  $\pm$  (feldspath) contenant des quantités variables de phlogopite, d'actinolite, de diopside et de scheelite, associées à des halos d'altération calcosilicatée et potassique. Les veines aurifères à haute teneur et leurs épontes contiennent généralement moins de 1 % de sulfures disséminés (pyrrhotite, arsénopyrite  $\pm$  pyrite) et ont une texture pegmatitique avec de l'or visible (semblable à l'indice Moni). L'omniprésence d'inclusions de löllingite riches en or dans l'arsénopyrite des zones principales à Éléonore ainsi que le plissement des zones 5050 et 6000 durant les déformations D2 et D3 indiquent que l'essentiel de la minéralisation aurifère est antérieur à précoce par rapport à la déformation D2. Durant les déformations subséquentes, la minéralisation aurifère a enregistré un métamorphisme prograde (zone de la sillimanite) puis rétrograde. Les caractéristiques structurales du système aurifère de l'indice Cheechoo s'expliquent par une mise en place syntectonique (durant D2) de l'intrusion de Cheechoo et des réseaux de dykes leucogranitiques et de veines aurifères qui lui sont associés. Dans ce contexte, la minéralisation aurifère à Éléonore et à Cheechoo présente des analogies avec les gisements aurifères de type orogénique « hypozonaux » et avec des systèmes aurifères liés à une intrusion réduite.

## Effacité de l'électrocoagulation pour le traitement du drainage minier acide ferrifère

Takoua Foudhaili, Baptiste Hédouin, Carmen Mihaela Neculita, Lucie Coudert (IRME UQAT -Polytechnique), Olivier Patrick Lefebvre (Université Nationale de Singapour)

Les technologies électrochimiques sont des approches prometteuses pour le traitement des contaminants. L'électrocoagulation (EC) est utilisée pour enlever les métaux présents dans le drainage minier acide (DMA), qui permet également de générer des boues plus stables que les technologies conventionnelles. Cependant, les performances de l'EC dans le traitement du DMA ferrifère dépendent fortement des conditions opératoires utilisées. Ce projet vise à évaluer l'efficacité de l'EC pour le traitement du DMA ferrifère, lors d'essais en mode de traitement par lots (*batch mode*). Les essais ont été réalisés en utilisant une solution minérale acide synthétique, avec un pH de  $2,6 \pm 0,2$  et des concentrations en fer (Fe) et en sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) fixées respectivement à 500 mg/l et à 1300 mg/l. L'influence de différents paramètres opératoires (électrodes en Fe, densités du courant [19 et 48 mA/cm<sup>2</sup>], distances interélectrodes [0,5-4 cm], nombre d'électrodes [4-10 électrodes] et temps de réaction [15 min à 12 h]) sur l'efficacité d'enlèvement du Fe et du  $\text{SO}_4^{2-}$  a été évaluée. Les résultats montrent une meilleure efficacité pour l'enlèvement du Fe et du  $\text{SO}_4^{2-}$  lorsque la densité de courant est de 48 mA/cm<sup>2</sup>, la distance interélectrodes est de 0,5 cm, et ce, en utilisant quatre électrodes. Dans ces conditions opératoires, près de 100 % du Fe est éliminé après 8 heures de traitement alors que près de 62 % du sulfate est enlevé après seulement 60 min. Le pH de l'effluent final est > 7 et les teneurs finales en Fe et en  $\text{SO}_4^{2-}$  sont respectivement de 1 mg/l et de 495 mg/l, respectant ainsi les normes de rejets provinciales du Québec (Directive 019) et les normes canadiennes (REMM; 6-9,5).

L'EC représente une alternative prometteuse pour le traitement du DMA ferrifère en raison de son efficacité satisfaisante d'enlèvement du  $\text{SO}_4^{2-}$  et du Fe et de son potentiel de neutralisation de l'acidité. Cette technologie présente une configuration compacte et ne nécessite pas l'ajout de quantités importantes de produits chimiques pour traiter l'acidité, diminuant la salinité résiduelle de l'effluent traité. D'autres essais avec différentes conditions de fonctionnement (mode semi-continu) et diverses solutions minérales acides synthétiques et réelles ainsi qu'un traitement de polissage pour le Fe seront réalisés dans les prochains mois. Une évaluation de la toxicité des effluents miniers avant et après traitement par EC sera également effectuée afin de confirmer ou d'infirmer l'efficacité de cette technologie pour le traitement de DMA ferrifère.

## Stratigraphie, pétrogenèse et minéralisation volcanogène de la Ceinture archéenne de Colomb-Chaboullié, Baie-James

Sarah Galloway, Pierre-Simon Ross (INRS-ETE), Daniel Bandyayera, Yannick Daoudene (MERN)

La Ceinture de roches vertes de Colomb-Chaboullié, orientée NE-SW à E-W, est située dans la zone de contact entre les sous-provinces archéennes d'Opatca et de Nemiscau (Province du Supérieur), dans la région de la Baie-James, au Québec. Cette ceinture est composée de roches volcaniques, d'intrusions mafiques et/ou ultramafiques et d'unités métasédimentaires. Trois unités volcaniques y ont été définies : 1) unité à prédominance de coulées de basalte coussinées à massives, 2) unité composée d'andésites porphyriques coussinées à massives et 3) unité de roches volcanoclastiques intermédiaires à felsiques. La présence d'indices de métaux précieux et usuels témoigne du potentiel d'exploration de cette région.

L'objectif principal de cette étude de maîtrise à l'INRS était de mieux comprendre la volcanologie, la stratigraphie, la pétrographie et la géochimie des unités volcaniques de la Ceinture de Colomb-Chaboullié. L'objectif secondaire était de déterminer l'origine des indices de métaux précieux et usuels, à savoir s'ils étaient d'origine volcanogène ou tectonique. Cette étude aidera à l'exploration des ceintures de roches vertes dans le nord de la Province du Supérieur, lesquelles sont sous-explorées comparativement à la Ceinture de roches vertes de l'Abitibi.

En se basant sur les analyses lithogéochimiques de roches totales, les basaltes ont été divisés en trois sous-unités principales (*Acch1a*, *Acch1b* et *Acch1c*). Les deux sous-unités de coulées de lave intermédiaire (*Acch2* et *Acch2a*), qui sont géochimiquement comparables, sont différenciées en fonction de la proportion de phénocristaux. Les roches volcanoclastiques sont subdivisées en compositions intermédiaires (*Acch3a*) et felsiques (*Acch3b*). Les coulées de basalte tholéitique ont des compositions variant de N-MORB à plus évoluées. Ceci s'explique par une cristallisation fractionnée à des degrés variables, et un degré variable mais mineur de contamination crustale pendant l'ascension des basaltes vers la surface. Les laves andésitiques et les roches volcanoclastiques, qui ne sont pas directement liées aux basaltes du point de vue pétrogénétique, sont d'affinité calco-alcaline et présentent de fortes anomalies négatives en Nb-Ta et en Ti. Les andésites (*Acch2* et *Acch2a*) et les roches volcanoclastiques intermédiaires (*Acch3a*) sont géochimiquement identiques, ce qui semble indiquer une origine similaire. Ces roches intermédiaires à felsiques se sont formées par assimilation et cristallisation fractionnée (AFC), peut-être dans une chambre magmatique crustale, d'où leurs compositions plus évoluées et contaminées. La composition des roches volcanoclastiques felsiques (*Acch3b*) s'étend au-delà de celle des contaminants potentiels, ce qui nécessite une silicification et une séricitisation.

Les minéralisations en Au, en Ag et en Cu se trouvent principalement dans les basaltes. Elles se présentent sous la forme de lentilles de sulfures massifs à semi-massifs, de sulfures disséminés entre les coussins et de veines de sulfures dans les coulées basaltiques massives. La cartographie détaillée de l'indice de SMV du Lac Marcaut, le plus connu de la Ceinture de Colomb-Chaboullié, montre un contact géochimique basalte-basalte favorable. D'autres études géochimiques sont nécessaires pour déterminer si ce contact pourrait se trouver ailleurs dans la Ceinture de Colomb-Chaboullié.

## Comportement des éléments traces à l'approche des gisements d'or et de sulfures massifs volcanogènes : étude de cas en Abitibi

Dominique Genna, Damien Gaboury, Réal Daigneault  
(CONSOREM-UQAC)

La reconnaissance d'halos géochimiques primaires est un outil important pour l'exploration minérale. Les éléments majeurs sont utilisés de manière routinière, mais l'utilisation des éléments en traces reste encore marginale au Québec, malgré un fort potentiel. Ces éléments ne sont pas en proportion stœchiométrique dans les minéraux d'altération et leur concentration peut grandement varier lorsque l'on se rapproche de la minéralisation. Le potentiel pour développer des outils-vecteurs est donc réel. Ce projet du CONSOREM visait à étudier le comportement des éléments en traces dans les halos d'altération de deux types de minéralisation en Abitibi : or de type orogénique et sulfures massifs volcanogènes (SMV). Au total, 230 échantillons, provenant de quatre gisements (Lapa, Goldex, McLeod et B26), ont été récoltés selon une méthode « super traces » qui permet de conserver les éléments volatils lors du processus de dissolution à quatre acides précédant l'analyse par ICP-MS. Cette affiche s'attarde sur le cas du SMV de McLeod.

Le SMV de McLeod est situé dans le camp minier de Matagami. La stratégie d'échantillonnage visait l'étude de la variation des éléments en traces dans l'encaissant : la rhyolite du Groupe de Watson. Les outils géochimiques historiques, basés sur les éléments majeurs et en traces (indices d'altération et bilan de masse) permettent de détecter la zonalité classique que l'on retrouve dans les halos d'altération de SMV : chlorite proximale et séricite distale. La détection du signal distal représente un enjeu pour l'exploration, puisque la zone à chlorite est limitée au mur de la minéralisation. Le défi réside dans le fait que cette altération distale est, *a priori*, identique visuellement et géochimiquement à une altération de fond marin de basse température qui n'est pas nécessairement associée à un système minéralisateur. C'est le cas à McLeod où la zone à séricite (BM  $\text{Na}_2\text{O}$  et Rb/Sr) est détectée jusqu'à 1000 m dans des roches visuellement fraîches. Les outils classiques, basés sur des éléments lithophiles, ne donnent aucune indication de fertilité. Les éléments semi-volatils (Sb, Tl, Sn, etc.) offrent une solution. Plusieurs de ces éléments ont des comportements géochimiques ambivalents. Ils peuvent se comporter comme des éléments lithophiles ou chalcophiles en fonction de la présence ou non de sulfures. Les résultats obtenus montrent des enrichissements significatifs et successifs en Tl (1500 m), en W (1000 m), en Sn (750 m) ainsi qu'en Li et en Sb (50 m) à l'approche du gisement. Ce schéma d'altération constitue un outil puissant pour localiser non seulement les zones minéralisées, mais aussi les forages au sein d'un halo d'altération de grande envergure.

## Géologie de la région du lac Casterne, sous-provinces de La Grande et d'Opinaca, à l'est de Radisson, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada

Jean Goutier, Myriam Côté-Roberge (MERN)

Une nouvelle carte géologique de la région du lac Casterne (feuilles SNRC 33B14, 33G03 et 33G06) a été produite à l'échelle 1/50 000 à la suite du levé réalisé au cours de l'été 2018. La cartographie de ce secteur a permis d'observer la zone de contact entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca. Cette zone est constituée d'imbrications de roches métavolcaniques, métasédimentaires et intrusives. De plus, il a été possible d'identifier deux corridors de déformation, potentiellement aurifères, dont l'un est associé à un conglomérat polygénique. Un nouvel indice de cuivre a été découvert dans les roches du Complexe de Laguiche (feuille 33G06). Des zones d'altération similaires à celle de cet indice ont aussi été observées à plusieurs endroits dans la région cartographiée. Une zone favorable en métaux usuels (Zn-Cu) se trouve à l'intérieur des roches volcaniques du Groupe de Guyer.

## Domaines géométallurgiques dans un gisement aurifère : le cas du gisement Whale Tail, projet Amaruq, Nunavut

Floriane Guillevic, Lucie Mathieu (CERM-UQAC),  
Marjorie Simard (Mines Agnico Eagle)

Une tendance dans le monde minier veut que les compagnies minières traitent de plus en plus des minerais réfractaires et de nature complexe, comme à la mine Kittila (Finlande, propriété d'Agnico Eagle) où l'or est encapsulé dans l'arsénopyrite et la pyrite. La caractérisation de la distribution de l'or dans un gisement est la responsabilité des géologues (phase d'exploration), alors que l'optimisation de la récupération aurifère est celle des métallurgistes (phase de préféabilité) qui établiront les caractéristiques physiques et chimiques de la roche. Pourtant, une estimation précoce de la rentabilité et de l'impact environnemental d'un projet minier en développement serait un avantage concurrentiel pour une compagnie minière. Ce besoin est aujourd'hui comblé par le domaine émergent de la géométallurgie, qui intègre différentes disciplines géoscientifiques dans le but de relier la récupération minérale et les impacts environnementaux aux caractéristiques minéralogiques du minerai. L'exploitation du gisement est alors optimisée par la création de domaines géométallurgiques, qui sont des zones définies par un assemblage minéralogique unique associé à une réponse métallurgique et/ou environnementale propre.

Le projet de maîtrise vise à développer une méthode permettant de définir des domaines géométallurgiques à partir des données acquises pendant la phase d'exploration du projet minier Amaruq de Mines Agnico Eagle, hôte du gisement Whale Tail. Le socle dans la région du Kivalliq au Nunavut, où se trouve le projet, est constitué de roches néoarchéennes du Groupe du Woodburn Lake (Domaine de Rae, Province de Churchill). Les zones minéralisées sont encaissées dans une séquence volcano-sédimentaire composée de grauwackes, de cherts et de formations de fer, où l'or est principalement associé à des sulfures de fer et d'arsenic. Ces assemblages complexes entraînent de nouveaux défis métallurgiques et environnementaux pour Mines Agnico Eagle. Les principaux objectifs de ce projet de maîtrise sont : 1) une caractérisation pétrographique et métallographique complète du gisement Whale Tail et 2) l'utilisation d'outils de traitement de données pour corréliser les données d'exploration aux données métallurgiques et environnementales.

Les premiers résultats issus de la campagne d'échantillonnage, des observations pétrographiques et des tests métallurgiques et environnementaux sont présentés ici. Ces tests rapides et moins onéreux que ceux pratiqués par des laboratoires externes donnent une réponse métallurgique (récupération aurifère, consommation de cyanure) et environnementale (potentiel de génération d'acide, degré de lixiviation des métaux) à plus petite échelle.

## Cartographie du potentiel géothermique superficiel : application dans la communauté nordique de Kuujjuaq, Québec, Canada

Evelyn Gunawan, Nicolò Giordano,  
Jasmin Raymond (INRS-ETE)

Le Nunavik, et ses 14 villages inuits où vivent 12 300 habitants, est une région éloignée qui couvre le tiers nordique de la province de Québec. Pour répondre aux besoins en chauffage et en eau chaude, les bâtiments résidentiels sont munis de fournaises à l'huile. Avec une moyenne annuelle de 8 520 degrés-jours de chauffage à moins de 18 °C, la demande en chauffage est très grande dans cette région. Le coût élevé et l'impact environnemental des carburants fossiles appellent au développement de nouvelles approches pour alimenter en énergie ces communautés qui ne sont pas reliées au réseau provincial électrique. L'énergie géothermique, spécifiquement par l'utilisation de thermopompes géothermiques, a été proposée comme une solution viable aux actuelles fournaises au diesel à faible rendement et à forte émission de GES.

Cette étude présente l'application de la méthode G.POT dans le cadre d'un processus faisant appel à un système d'information géographique (SIG) pour générer des cartes du potentiel géothermique superficiel à Kuujjuaq. L'équation G.POT dépend des propriétés thermiques du sol, des exigences opérationnelles de la thermopompe et des paramètres de conception de l'échangeur de chaleur air-sol. Cette méthode estime la chaleur maximale qui peut être échangée annuellement et de façon durable par un échangeur de chaleur air-sol dans un sous-sol homogène. Une campagne de terrain avait déjà été effectuée dans la région pour recueillir des données sur la profondeur des sédiments du Quaternaire et la température du sol, ainsi que sur la conductivité thermique et la capacité thermique des sédiments non consolidés et du socle rocheux. Les données sur les caractéristiques des puits ont été obtenues auprès d'une entreprise minière locale pouvant fournir des services de forage pour installer des échangeurs de chaleur géothermique. En utilisant ces données comme paramètres d'entrée, le potentiel géothermique superficiel a été calculé au moyen de l'équation G.POT. Des cartes du potentiel géothermique de Kuujjuaq ont été générées pour des échangeurs de chaleur air-sol à trois profondeurs différentes, soit 100 m, 200 m et 300 m, en utilisant les logiciels QGIS et Surfer 9. Les cartes résultantes montrent que le potentiel géothermique moyen à Kuujjuaq varie entre 3,9 MWh/an et 17,0 MWh/an et qu'il augmente plus rapidement que de façon linéaire en fonction de la profondeur des puits. En plus de fournir un outil pratique pour déterminer les endroits les plus propices en vue de l'installation de thermopompes, ces cartes serviront à l'évaluation des coûts de forage des échangeurs de chaleur air-sol, une donnée essentielle à la faisabilité économique de tels projets.

## Domaines lithologiques, structures profondes et reconstruction de la Province du Supérieur au Québec : implications pour l'exploration minérale et les modèles tectoniques

Lyal Harris (INRS-EET), Nathan Clevens, Carl Guilmette (UL)

Le traitement des données aéromagnétiques régionales pour accentuer la géométrie des domaines et des structures en profondeur donne une nouvelle vision de la Province du Supérieur au Québec :

Dans le nord-est de cette province, les marges lithologiques profondes (rift néoarchéen?) sont obliques par rapport aux limites des domaines de Qalluivartuq et du Lac Minto. La localisation des failles associées aux minéralisations de type IOCG, aurifères et polymétalliques (comme Rex-Duquet et Rex South) semble être associée à ces discontinuités profondes.

En défaisant le déplacement dextre pour associer la signature magnétique profonde des paragneiss, des orthogneiss et des diatexites de la Sous-province d'Ashuanipi avec celle d'un bloc similaire dans le Bienville, deux anomalies distinctes associées aux rifts néoarchéens, auparavant séparées, se trouvent reliées. Cela montre qu'un rift néoarchéen N-S s'étendait de l'extrémité nord de la partie nord-est de la Province du Supérieur jusqu'à la Sous-province de La Grande. La comparaison avec des modèles physiques semble indiquer que la géométrie initiale du rift était contrôlée par les limites des terranes du socle définies par les âges modèles du Nd. Au cours du raccourcissement N-S subséquent, la déformation a augmenté vers le sud, avec des plis ouverts au nord et des plis isoclinaux E-W au sud.

Bien que les composantes en surface des données aéromagnétiques à haute résolution de la région d'Eeyou Istchee Baie-James révèlent une large zone de cisaillement transpressive, ductile et dextre orientée E-W, les unités sous-jacentes (granulites felsiques?) sont décalées par de « discrètes » zones de cisaillement E-W; les marges des blocs « en escalier » étaient à l'origine N-S. Des structures semblables au centre-nord de l'Abitibi illustrent l'importance des structures N-S précoces pour l'ensemble de l'est du Supérieur et laissent croire une transposition E-W importante. Le changement de rhéologie en profondeur ne correspond pas aux modèles conventionnels (« sandwich à la gelée », « crème brûlée »), mais plutôt à un modèle de « mille-feuille » où, en plus d'une croûte supérieure et d'un manteau supérieur rigides, d'importantes couches résistantes de granulite felsique anhydre ou de roche mafique sont présentes dans la croûte profonde.

Les résultats soulèvent plusieurs questions :

- Est-ce que les roches métasédimentaires de l'Opinaca et du Nemiscau se sont déposées dans les rifts orientés N-S et ENE-WSW à E-W au sein des socles de La Grande et d'Opatica?
- Est-ce que la similitude entre les signatures géophysiques profondes de la partie SE de l'Abitibi (y compris les TTG du Complexe d'Attic) et celles de la Sous-province du Pontiac signifie qu'elles étaient autrefois contiguës?

Les interprétations ne concordent pas avec les modèles conventionnels d'arc et de bassin arrière-arc et ont des conséquences quant aux contrôles structuraux des gisements aurifères et d'autres métaux dans le Supérieur et les autres terranes archéens.

## Minéralisations chromifères et nickélicifères associées à la Suite mafique-ultramafique de Caumont dans le secteur de Nemiscau, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada

Michel G. Houlié (CGC-Q), Daniel Bandyayera (MERN)

Les roches mafiques et ultramafiques sont omniprésentes sur le territoire d'Eeyou Istchee Baie-James, quoique leur abondance soit extrêmement variable d'un secteur à l'autre. Celles-ci sont relativement communes dans le secteur de Nemiscau, où elles sont interprétées comme faisant partie de la Suite de Caumont. Les unités de cette suite consistent en une série d'intrusions mafiques et ultramafiques orientées ENE-WSW qui se sont mises en place dans la séquence volcano-sédimentaire du Groupe du Lac des Montagnes, le long du contact entre la Sous-province de Nemiscau, au sud, et celle du La Grande, au nord.

Trois types d'intrusions se trouvent dans la Suite de Caumont : 1) des intrusions ultramafiques, 2) des intrusions mafiques et 3) des intrusions différenciées ultramafiques à mafiques où la zone ultramafique est prépondérante par rapport à la zone mafique. Plusieurs de ces intrusions sont hôtes de minéralisations nickélicifères et/ou chromifères. Les plus importantes sont l'intrusion du Lac des Montagnes, hôte du gîte de chromite de Mountain Lake, et l'intrusion de Levack qui contiennent le gisement de nickélicifère de Nisk.

L'intrusion du Lac des Montagnes est composée principalement de péridotite, de pyroxénite à olivine, de pyroxénite et de gabbro. Elle est l'hôte d'au moins trois niveaux chromifères formés de lits métriques de chromite massive et semi-massive ou de lits centimétriques de chromite semi-massive. L'intrusion de Levack est composée principalement de péridotite, de pyroxénite à olivine, de pyroxénite et de pyroxénite à plagioclase. Quant à la minéralisation, elle se présente sous la forme de sulfures massifs à semi-massifs, de sulfures matriciels et de sulfures disséminés.

Nos travaux visent à caractériser les intrusions ultramafiques à mafiques de la Suite de Caumont et à déterminer les affinités pétrologiques et géochimiques ainsi que l'association entre les minéralisations chromifères et nickélicifères observées quelques fois dans une même intrusion. Ces nouvelles données géologiques sont utilisées dans une étude comparative de la Suite de Caumont avec d'autres intrusions dans la Province du Supérieur, comme celles présentes dans le secteur du *Ring of Fire* dans le nord de l'Ontario.

## Pluton de Chevrillon : homogénéité et relation à la déformation (Chibougamau, Québec)

Julien Huguet, Lucie Mathieu, Paul Bédard (CERM-UQAC)

Le Pluton de Chevrillon, situé à 10 km au nord de la ville de Chibougamau, est l'un des plus anciens intrusifs syn-tectoniques de la Sous-province d'Abitibi. Il s'agit d'une petite intrusion (11 par 8 km) néoarchéenne de granodiorite porphyrique à phénocristaux de feldspath potassique. Trois petits corps intrusifs satellites avoisinent le Pluton de Chevrillon : le satellite nord, le satellite nord-ouest et le satellite ouest. Ces quatre intrusions, qui pourraient être liées à un même épisode magmatique, se sont mises en place dans les roches sédimentaires de la Formation de Chebistuan (conglomérats polygéniques jointifs et grès), au sein du Synclinal de Waconichi.

Réalisée dans le cadre du projet Metal Earth, cette étude porte sur les caractéristiques chimiques du Pluton de Chevrillon et sa relation avec l'encaissant et la déformation. Le but est de déterminer les conditions de formation du magma de même que la chronologie de mise en place de l'intrusion par rapport à la déformation dans la région de Chibougamau. Au total, 45 affleurements répartis inégalement sur le Pluton de Chevrillon, le satellite nord et le satellite ouest ont été décrits au cours de l'été 2018. Les travaux de cartographie montrent que le Pluton de Chevrillon, bien que relativement homogène, est différencié : sa partie centrale est plus riche en quartz. De nombreuses enclaves de différente nature sont observées dans le pluton : amphibolite, gabbro, roches sédimentaires et volcano-sédimentaires. Leur répartition est homogène (5 %), sauf dans la partie nord-ouest du pluton où la proportion d'enclaves peut atteindre 20 %. Le satellite nord est similaire au Pluton de Chevrillon et contient les mêmes enclaves. Le satellite ouest se distingue par l'absence de phénocristaux de feldspath et d'enclaves. L'étude de l'alignement des cristaux d'amphibole à l'échelle du Pluton de Chevrillon montre que les plans de foliation sont orientés est-ouest à ses bordures nord et sud, ce qui n'est pas le cas pour les roches au centre. Ainsi, la mise en place de l'intrusion coïnciderait avec la fin de la période de déformation principale dans la région de Chibougamau.

[Ceci est une contribution Metal Earth numéro MERC-ME-2018-053]

## Méthodologie d'évaluation de la performance technique des chantiers d'abattage : écarts opérationnels et voies d'optimisation

Sebastián Ibarra-Gutiérrez, Marcel Laflamme, Stefan Planeta (UL)

L'estimation de la performance technique des chantiers d'abattage et son évaluation postérieure sont des étapes cruciales de la planification minière. Lorsqu'effectuées correctement, elles permettent de réconcilier l'extraction des réserves au fur et à mesure que l'exploitation avance, de faire le suivi de la séquence d'extraction et de prévenir toute éventuelle instabilité géomécanique. De plus, étant donné que le Règlement 43-101 stipule que « les réserves minérales comprennent les matériaux de dilution et des provisions pour pertes subies lors de l'exploitation », l'évaluation de la performance technique établit les bases statistiques sur lesquelles les ingénieurs prennent les décisions concernant l'estimation de cette performance et, de ce fait, le design des chantiers d'abattage lors des études de faisabilité. D'autre part, des lacunes dans la littérature, notamment la non-standardisation des définitions qui décrivent ce qui se passe à l'intérieur des chantiers d'abattage — la dilution et les pertes de minerai — et la non-inclusion de certaines situations dans les méthodes de calcul utilisées, font en sorte que la performance technique des chantiers d'abattage peut être mal évaluée.

En plus des problématiques et des défis associés à l'estimation et à l'évaluation de la performance technique des chantiers d'abattage, notre affiche met en relief les voies d'optimisation qui résulteraient de l'application d'une méthodologie d'évaluation améliorée, élaborée dans le cadre du projet de recherche « Mines profondes : défis d'exploitation et impacts sur la récupération minéralurgique », financé par le Fonds de recherche du Québec – Nature et technologie (FRQNT). Cette méthodologie, validée par l'industrie minière lors de visites de terrain et d'études de cas, s'adapte non seulement aux nouvelles technologies et aux nouveaux logiciels d'arpentage et de design minier, mais est adéquate pour chaque étape d'une exploitation minière : planification, exploitation, réconciliation et faisabilité.

## Présentation des données géophysiques publiées en 2018

**Rachid Intissar, Siham Benahmed (MERN)**

Poursuivant sa mission d'acquisition et de traitement des données géoscientifiques, le Bureau de la connaissance géoscientifique du Québec a réalisé deux nouveaux levés aéromagnétiques de très haute résolution (espacement entre traverses de 200 m) durant l'hiver 2018, dans un secteur situé au sud-est du lac Mistassini. Les levés ont couvert deux blocs adjacents d'une superficie d'environ 22 263 km<sup>2</sup> au sein de la Province géologique de Grenville. Le nombre de kilomètres linéaires parcouru est de 130 000 km. Le but de ces levés de haute résolution est de fournir un outil de soutien à la cartographie géologique tant pour les projets de Géologie Québec que ceux des compagnies privées. Ces données permettent également de stimuler l'investissement en exploration minérale avec la génération de zones favorables. Les rapports techniques des deux levés, y compris les données numériques, sont disponibles dans Examine (DP 2018-05 et DP 2018-06).

## Présentation des levés aéromagnétiques réalisés en 2018 dans les secteurs de la rivière Mistassini et du lac Péribonka

**Rachid Intissar, Siham Benahmed (MERN)**

Poursuivant sa mission d'acquisition et de traitement des données géoscientifiques, le Bureau de la connaissance géoscientifique du Québec a réalisé deux nouveaux levés aéromagnétiques de très haute résolution (espacement entre traverses de 200 m) durant l'hiver 2018, dans un secteur situé au sud-est du lac Mistassini. Les levés ont couvert deux blocs adjacents d'une superficie d'environ 22 263 km<sup>2</sup> au sein de la Province géologique de Grenville. Le nombre de kilomètres linéaires parcouru est de 130 000 km. Le but de ces levés de haute résolution est de fournir un outil de soutien à la cartographie géologique autant pour les projets de Géologie Québec que pour ceux des compagnies privées. Ces données permettent également de stimuler l'investissement en générant de nouvelles zones favorables à l'exploration minérale.

Les rapports techniques et les données numériques sont publiés dans Examine sous les DP 2018-05 et DP 2018-06. Les cartes du champ magnétique total résiduel et de son gradient vertical ainsi que les polygones des zones favorables à l'exploration minérale sont aussi disponibles à partir de la carte interactive du SIGÉOM.

## Évaluation de la performance d'un champ de forages géothermiques

**Nehed Jaziri, Jasmin Raymond (INRS-ETE), John Molson (UL), Nicolò Giordano (INRS-ETE), Maxime Boisclair**

Les systèmes de pompes à chaleur géothermiques offrent une meilleure efficacité énergétique et un faible coût par rapport aux systèmes conventionnels de chauffage et de climatisation. L'école Carignan-Salières, située en Montérégie, est un exemple de bâtiment chauffé et climatisé au moyen d'un système géothermique à boucle fermée. Ce système fonctionne sous des conditions variables d'écoulement d'eau souterraine, à cause de la proximité de deux carrières (de l'eau est irrégulièrement pompée dans l'une de celles-ci). Les forages aménagés pour les échangeurs de chaleur ont été remplis de sable d'olivine puisque l'écoulement souterrain dans le roc fissuré a rendu difficile le colmatage des forages avec un coulis. Deux approches numériques différentes ont été utilisées afin d'évaluer la performance des échangeurs de chaleur à long terme, tout en mettant en évidence l'impact du choix des matériaux de remplissage des forages et de l'écoulement d'eau souterraine sur les transferts thermiques au niveau du sous-sol.

Un test d'injection de chaleur a été réalisé sur l'ensemble du champ de forages géothermiques. Les données ont permis de développer un modèle préliminaire simple, à travers lequel la conduction de chaleur dans le sous-sol a été simulée pour évaluer la température d'exploitation des échangeurs de chaleur géothermique durant 20 ans. Les résultats montrent que les matériaux de remplissage ont un impact mineur sur la performance des échangeurs de chaleur par rapport à l'impact de la conductivité thermique apparente du sous-sol qui est affectée par les conditions de l'écoulement d'eau souterraine.

Les résultats du test d'injection de chaleur ont aussi permis de calibrer un deuxième modèle numérique complexe simulant le transfert de chaleur par convection dans le sous-sol sur 20 ans avec la méthode des éléments finis. Huit scénarios d'exploitation du système géothermique sous différentes conditions d'écoulement d'eau souterraine liées au pompage de la carrière avoisinante ont été considérés. Les simulations montrent que l'écoulement souterrain accru lors du pompage de l'eau dans la carrière a un effet bénéfique sur l'exploitation et l'efficacité du système géothermique. En particulier, la température minimale du fluide caloporteur à la sortie des échangeurs de chaleur est 8°C plus élevée par rapport à celle simulée dans le cas où le pompage dans la carrière est arrêté ou diminué.

## Évaluation de l'état des ressources géothermiques locales et adaptation des technologies au contexte nordique

**Inès Kanzari, Nicolò Giordano, Malfada Alexandra Miranda, Jasmin Raymond (INRS-ETE), Chrystel Dezayes (BRGM)**

Cette recherche porte sur l'évaluation de l'efficacité des systèmes géothermiques superficiels à Kuujuaq, la capitale régionale des quatorze communautés inuites du Québec, à partir de la caractérisation des propriétés thermiques du sous-sol. Les propriétés thermiques jouent un rôle majeur dans un large éventail d'applications qui reposent sur les processus de transfert de chaleur.

Vingt échantillons de dépôts du Quaternaire et vingt-quatre échantillons de roches ont été ramassés pour analyser leurs propriétés thermiques et hydrauliques, en conditions in situ et saturées, en utilisant une sonde à double aiguille, un compteur de flux de chaleur et un perméamètre et porosimètre à gaz. La simulation d'un bâtiment de référence a été réalisée avec le logiciel SIMEB afin d'estimer sa consommation énergétique globale selon les charges horaires et mensuelles de chauffage et de climatisation. Le résultat obtenu est une consommation totale de 112 204 kWh, y compris 92 599 kWh pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire et 97 kWh pour la climatisation. Une deuxième simulation analytique a été réalisée avec le GLHEPro pour évaluer les économies d'énergie que pourrait générer un système de pompes à chaleur géothermique par absorption lié à des échangeurs de chaleur verticaux. Différents scénarios de simulations à long terme de la réponse thermique des échangeurs de chaleur ont été effectués pour calculer la température du fluide à l'entrée de la pompe et sa consommation énergétique. Des données géophysiques ont aussi été obtenues par tomographie de résistivité électrique (ERT) dans le but d'imager les structures et la nature de la sous-surface, en particulier le pergélisol.

Les dépôts du Quaternaire et les roches de la région ont une conductivité thermique faible à modérée et une capacité thermique volumique appréciable, indiquant un potentiel modéré pour les pompes à chaleur géothermique et des perspectives de développement valables pour les systèmes de stockage thermique souterrain. Les simulations de bâtiment et de sous-sol montrent que le système peut fonctionner au-dessus de la température critique de la pompe à chaleur, même si la température du sol est proche du point de congélation. Les levés géophysiques n'ont mis en évidence aucune preuve de pergélisol continu.

L'étude a permis de concevoir des systèmes de pompes à chaleur géothermique dans un environnement subarctique et leurs adaptations au climat froid.

## Étude tectono-métamorphique de la région de Manicouagan

Charles Kavanagh-Lepage, Félix Gervais (Polytechnique)

Le débat actuel sur la compréhension des processus orogéniques au sein de la Province de Grenville oppose les modèles de prisme orogénique, de fluage chenalisé et d'effondrement gravitaire. Il est crucial de connaître les mécanismes tectoniques ayant affecté la Province de Grenville afin d'orienter l'exploration des métaux stratégiques nécessaires aux applications technologiques et à la transition énergétique.

L'étude du secteur de Manicouagan, un endroit exceptionnel pour observer ces phénomènes, a permis une meilleure compréhension de l'architecture grenvillienne. Un modèle tectonique récent en 3D propose deux phases successives d'extrusion ductile pour les deux phases principales de l'Orogénie grenvillienne. Bien que ce modèle intègre un large éventail de données en un modèle cohérent, plusieurs éléments restent à tester ou ne sont tout simplement pas expliqués.

Le projet de doctorat a pour but de recueillir et d'intégrer toutes les données P-T-t-D du secteur allant du réservoir Manicouagan à Fermont, en vue de la réalisation d'une étude tectono-métamorphique utilisant des outils d'analyse de pointe. Les travaux de terrain entrepris en 2017 se poursuivront en 2019 et, possiblement, en 2020. La quantification du métamorphisme sera effectuée à l'aide du géobaromètre « quartz dans grenat » et du géothermomètre « Zr dans rutile » et de sections de diagrammes de phase isochimiques appliquant les modèles thermodynamiques les plus récents. Pour contraindre l'évolution temporelle du métamorphisme, une étude pétrochronologique (textures, composition chimique et datation) sera également réalisée. À partir des résultats, un modèle tectonique sera conçu pour ce secteur, mettant en évidence les processus à l'œuvre dans les zones noyaux des orogènes anciens.

Nous présentons ici les résultats préliminaires de cette étude tectono-métamorphique, en particulier le métamorphisme dans la ceinture allochtone et le comportement du rutile dans les assemblages minéralogiques de haute pression, ainsi qu'une synthèse des données métamorphiques et géochronologiques disponibles dans la zone d'étude (Manicouagan à Fermont).

## Développement d'un procédé de carbonatation minérale de CO<sub>2</sub> par des résidus miniers issus de l'exploitation d'une mine d'apatite

Waâd Khemiri, Guy Mercier, Louis-César Pasquier (INRS-ETE), Maria C. Iliuta (UL), Jean-François Blais (INRS-ETE)

Les changements climatiques qui se manifestent depuis les dernières années alarment de plus en plus les communautés, les incitant à trouver des solutions concrètes. Il s'avère que le principal responsable de ce dérèglement climatique est le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dont la concentration atmosphérique a dépassé les 410 ppm en 2018.

Les mines, un secteur important de l'économie du Québec, sont soumises à une forte pression pour réduire l'impact de leurs activités sur l'environnement. L'un des enjeux pour l'industrie minière est de valoriser les résidus stockés en masse à la suite de l'exploitation.

Sommes-nous capables à la fois de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et de valoriser ces déchets miniers?

S'inspirant d'un phénomène naturel qui se base sur la transformation du CO<sub>2</sub> en carbonates, ce projet de recherche a pour objectif de développer un procédé destiné à valoriser les résidus d'une mine d'apatite située au nord du Québec, en les faisant réagir avec du CO<sub>2</sub> pour obtenir des produits à valeur ajoutée.

L'approche employée est une approche indirecte de carbonatation minérale appelée « *pH-swing* ». Le bisulfate d'ammonium (NH<sub>4</sub>HSO<sub>4</sub>) est utilisé comme solvant pour extraire les éléments d'intérêt pour la réaction de carbonatation. Après une caractérisation complète du matériau, nous avons étudié sa lixiviation. La température, la concentration du solvant et le ratio S/L ont été optimisés au moyen de la méthodologie des plans d'expériences de Box-Behnken. Les essais ont démontré que les taux de lixiviation après 3 h de réaction sont optimums lorsque la température est de 60 °C, la concentration de 1,5 M et le rapport de 200 g/l. Ensuite, la précipitation des carbonates a été étudiée 1) sans ajustement préalable du pH des lixiviats et 2) avec un ajustement du pH de la solution à ~9. Les résultats montrent que le pH a une influence directe sur la nature et la pureté des précipités obtenus après 2 h de contact avec un gaz riche en CO<sub>2</sub>. En ajustant le pH de la solution à 9, ~33 % du Mg initial, correspondant à ~19 g de Mg par kilogramme d'échantillon, a précipité. En ce qui concerne le CO<sub>2</sub>, ~0,19 g de CO<sub>2</sub> a réagi par gramme d'échantillon (CO<sub>2</sub> converti et dissous par gramme d'échantillon).

## Synthèse de la cartographie de l'indice Moly-Desgagné : déformation et métamorphisme (Complexe d'Eau Jaune, région de Chibougamau, Québec)

Marie Kieffer, Lucie Mathieu, Damien Gaboury (CERM, UQAC)

L'indice Moly-Desgagné (ou Lac Sébastien) est l'une des deux seules minéralisations en molybdène (Mo) connues dans la région de Chibougamau. Il a été récemment l'objet de travaux de décapages sur six affleurements. La minéralisation est encaissée dans la partie nord-est du Complexe d'Eau Jaune (CEJ), une importante intrusion polyphasée. Les données disponibles sont insuffisantes pour statuer sur la nature et l'évolution géochimique du CEJ de même que sur sa géométrie, sa structure et sa profondeur de mise en place.

Dans le cadre du projet Metal Earth, en appui au levé sismique du transect de Chibougamau, un levé de cartographie a été réalisé à l'été 2018 (31 jours). Ces travaux avaient pour objectif d'étudier les différentes phases intrusives, leurs relations à la déformation et au métamorphisme ainsi que leurs chronologies de mise en place, en plus de déterminer la relation entre la minéralisation en Mo de l'indice Moly-Desgagné et l'évolution du CEJ. Ainsi, douze jours ont été consacrés à la cartographie du CEJ, y compris l'échantillonnage des différentes lithologies, alors que dix-neuf jours ont été consacrés à la cartographie détaillée des affleurements décapés de l'indice Moly-Desgagné, un secteur favorable non seulement pour étudier la minéralisation en Mo, mais également la déformation. Une foliation ancienne (N-S), peu développée et localement plissée, a été observée en affleurement. La foliation dominante (110° à 130°) est caractérisée par un alignement des cristaux d'amphibole et de feldspath (faciès des amphibolites). Elle s'accompagne de dykes d'aspect bréchiq ue et de couloirs de déformation subverticaux (mylonites anastomosées). Certains de ces couloirs sont riches en chlorite (métamorphisme rétrograde) et la présence de la foliation ancienne en bordure témoigne d'une circulation de fluides hydrothermaux rétrogrades. Les différentes générations de veines de tourmaline, de quartz-tourmaline et de quartz dans les réseaux de fractures cassantes sont également des signes d'activité hydrothermale. Les veines contiennent localement de la pyrite, indiquant des conditions thermiques en équilibre avec le faciès des schistes verts. Les altérations en carbonates associées aux veines de tourmaline détruisent les fabriques anciennes. La minéralisation est observée dans les épontes des veines de quartz des zones de cisaillement orientées 110° à 130° et riches en chlorite, mais aussi sous forme de flocons de molybdénite dans des veines de tourmaline noire plus tardives. Le système hydrothermal montre une évolution et la minéralisation en Mo est séquentielle.

[Contribution Metal Earth numéro MERC-ME-2018-054]

## Caractérisation de la déformation dans la Zone imbriquée de Manicouagan, Province de Grenville, Québec

Gaëlle Labat, Félix Gervais (Polytechnique)

Une vaste proportion des chaînes de montagnes anciennes est constituée de roches de la croûte profonde. Leur exhumation peut avoir eu lieu aussi bien lors de l'orogénie que lors de l'effondrement gravitaire subséquent. Les frontières tectoniques sont des cibles préférentielles pour étudier les processus d'exhumation. Une des frontières majeures au sein de la Province de Grenville est l'*Allochthone Boundary Thrust* (ABT). Elle juxtapose la ceinture allochtone déformée et métamorphisée lors de la première phase de l'Orogénie grenvillienne (Ottawa, 1090-1040 Ma) sur les roches de la ceinture parautochtone déformées plus tardivement lors de la phase de Rigolet (1000-960 Ma).

La Zone imbriquée de Manicouagan (ZIM) est une curiosité à l'échelle de la Province de Grenville, en raison de la présence plutôt rare d'éclogite. Ceci exprime un fort contraste par rapport aux roches plus au sud qui, au même niveau structural, n'ont atteint qu'une pression moyenne. De plus, l'ABT, qui délimite localement les frontières de la ZIM, a une orientation NW-SE qui est perpendiculaire au Front de Grenville et à son tracé habituel. Plusieurs hypothèses ont été proposées pour expliquer ce phénomène, notamment le plissement tardif, en transtension ou en transpression, ou encore le chevauchement produit lors de l'extrusion de nappes ductiles. Aucune étude n'avait été réalisée dans la ZIM pour expliquer ce phénomène ou les mécanismes d'exhumation. En plus de la compilation des données scientifiques de la région, nos travaux sur le terrain avaient pour objectif d'étudier la partie est de la ZIM.

Le tracé précis de l'ABT dans l'est de la ZIM a été établi à partir des différences entre les deux ceintures grenvilliennes. Un premier modèle de déformation en constriction pour la mise en place de la ZIM est proposé à la suite de l'analyse structurale et géochronologique, laquelle comprend les résultats des recherches antérieures dans la région. Cette proposition appuie l'hypothèse d'une extrusion ductile pour ces roches de la croûte profonde. Ces résultats apportent des contraintes cruciales concernant l'enchaînement des événements propres à l'évolution tectonique de l'Orogénie grenvillienne.

## Impact des impuretés sur l'extraction du lithium du $\beta$ -spodumène lors du grillage à l'acide sulfurique

Francis Lajoie-Leroux, Colin Dessemond, Gervais Soucy (UdeS), Nicolas Laroche, Jean-François Magnan (NMX)

Le grillage acide pour l'extraction du lithium d'un concentré de  $\beta$ -spodumène est le procédé traditionnel utilisé depuis le milieu du 20<sup>e</sup> siècle et est aussi celui qui est favorisé par les nouveaux producteurs de composés de lithium. Très peu d'études ont tenté de confirmer les hypothèses expliquant pourquoi le rendement en lithium est limité à 95 % et pourquoi un excès stœchiométrique de  $H_2SO_4$  de 30 % est nécessaire. Dans cette étude, l'acidulation du  $\beta$ -spodumène est effectuée dans un four tubulaire, suivie par la lixiviation du sulfate de lithium, afin de réaliser un plan d'expériences factoriel portant sur l'excès de  $H_2SO_4$  (30 % vs 20 %), la température de grillage (250 °C vs 225 °C), la durée du grillage (30 min vs 5 min) et l'agitation mécanique amplifiée par l'usage de 35 billes d'alumine. Une analyse de variance a été faite sur le rendement en lithium et sur les rendements de chacune des impuretés, alors qu'une analyse en composantes principales a été réalisée sur les rendements des impuretés. Ces analyses statistiques ont montré la dépendance et l'indépendance respectivement des extractions du lithium et des impuretés par rapport aux conditions d'opération. Les rendements des impuretés (Al, Na, Fe, Ca, Mn et K) étaient très faibles, avec un total de 0,5 % at/at du concentré de spodumène lixivié. L'excès de  $H_2SO_4$ , la température, la durée et l'agitation mécanique améliorent respectivement le rendement en lithium de 0,8 %, 0,0 %, 1,0 % et 0,3 %. La consommation de  $H_2SO_4$  par les impuretés est estimée entre 7 % et 13 %, montrant que plus de la moitié de l'excès d'acide ne réagit pas. Ces observations nous portent à rejeter, au moins pour les concentrés à faible concentration en impuretés, l'hypothèse d'une consommation de l'acide sulfurique par les impuretés comme étant la raison qui nécessite un excès de 30 %. Néanmoins, il a été démontré que le rendement en lithium diminue avec la teneur en impuretés, ce qui s'expliquerait par une inclusion de particules de  $\beta$ -spodumène dans des particules d'impuretés (principalement du quartz) de taille supérieure.

## Géologie des dépôts de surface de la région de Nemaska (portion nord de 32N), Eeyou Istchee Baie-James

Olivier Lamarche, Virginie Daubois, Hugo Dubé-Loubert (MERN)

RP 2018-05

Le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles a amorcé à l'été 2016 un projet d'échantillonnage des sédiments glaciaires et fluvioglaciaires dans le secteur du contact des sous-provinces de Nemiscau et de La Grande (Province du Supérieur). Ce projet avait pour but de cartographier les dépôts de surface et d'évaluer le potentiel minéral (diamants, métaux usuels et précieux, terres rares, etc.) de la partie nord du feuillet SNRC 32 N. Le rapport présente les résultats de la campagne de cartographie et inclut les cartes de dépôts de surface, la description des unités ainsi qu'une revue de la géologie du Quaternaire et des différentes orientations d'écoulement glaciaire de la région.

La cartographie des dépôts de surface a permis d'identifier les différents types de sédiments associés à la dernière déglaciation. La région est dominée par une plaine de sédiments glaciomarins déposés par la Mer de Tyrrell qui, à partir de l'Holocène, a contribué au développement de nombreuses tourbières et de milieux humides caractéristiques des basses-terres de la baie James. Les reliefs qui percent cette plaine sont généralement des affleurements rocheux auxquels sont associées des traînées morainiques orientées dans le sens de l'écoulement glaciaire régional SW. Plusieurs plages soulevées marquant divers niveaux de la Mer de Tyrrell ont été observées. Au NE du secteur, quelques segments de la Moraine de Sakami, d'origine fluvioglaciaire, marquent la transition entre le territoire submergé par la Mer de Tyrrell et les hautes terres. Ces terrains plus élevés et épargnés par l'invasion marine ont permis l'échantillonnage d'eskers, lesquels sont absents du reste de la zone d'étude. Dans le secteur sud, en dehors de l'influence glaciomarine, on peut observer des sédiments glaciolacustres du Lac Ojibway.

## Analyses des minéraux lourds provenant des sédiments glaciaires et fluvioglaciaires de la région de Nemiscau, Eeyou Istchee Baie-James

Olivier Lamarche, Virginie Daubois, Hugo Dubé-Loubert (MERN)

DP 2018-07

Le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles a amorcé à l'été 2016 un projet d'échantillonnage des sédiments glaciaires et fluvioglaciaires dans les sous-provinces de Nemiscau et de La Grande (Province du Supérieur). Ce projet poursuit plusieurs objectifs, dont celui d'évaluer le potentiel minéral de la région. Cet échantillonnage a été réalisé de concert avec une campagne de cartographie des dépôts de surface à l'échelle 1/50 000 du secteur d'intérêt. La zone étudiée en 2016 correspond aux feuillets SNRC 32N03 (moitié nord), 32N06, 32N07 et 32N09 à 32N16.

La fraction fine de la matrice des tills a été analysée afin de déterminer les concentrations en éléments majeurs, en éléments traces et en éléments de terres rares. Les concentrés de minéraux lourds obtenus d'échantillons de till et d'esker ont été soumis à un examen visuel pour identifier les minéraux indicateurs typiques de certains contextes métallogéniques (kimberlites diamantifères, or de type orogénique, sulfures massifs métamorphisés, Ni-Cu magmatique, terres rares associées aux roches alcalines, etc.). Finalement, la composition chimique de quelques minéraux indicateurs a été déterminée afin de valider l'identification visuelle.

Ce rapport présente les résultats des analyses des minéraux lourds pour les échantillons de sédiments glaciaires et fluvioglaciaires prélevés en 2016. Cette publication fait suite au document DP 2017-10 qui traitait des résultats d'analyses de la fraction fine du till et du comptage des grains d'or et des minéraux du groupe du platine.

## Évaluation du potentiel minéral à partir d'un levé géologique du Quaternaire dans la région de Nemaska

Olivier Lamarche, Virginie Daubois, Hugo Dubé-Loubert (MERN)

ET 2018-01

Géologie Québec a entrepris à l'été 2016 une campagne de cartographie des dépôts de surface jumelée à un échantillonnage systématique des sédiments de till et d'esker dans la région des rivières Rupert et Pontax (feuillelet SNRC 32N). Près de 350 échantillons ont été prélevés et analysés afin de caractériser le potentiel minéral de cette région des basses-terres de la baie James où l'étendue et l'épaisseur de la couverture sédimentaire sont particulièrement importantes. Les résultats des séparations des minéraux indicateurs (grains d'or, de sulfures, d'olivine, etc.) ainsi que les analyses géochimiques de la fraction fine des tills (<63 µm) permettent de cerner plusieurs zones présentant un fort potentiel pour l'exploration. L'étude de la dynamique glaciaire et de la séquence des écoulements a permis de circonscrire les mouvements et la dispersion glaciaires. Les treize nouvelles zones favorables définies à partir de l'analyse des échantillons de till permettront de guider l'exploration pour l'or dans ce territoire où la connaissance géologique est limitée.

## L'architecture de la Province de Grenville le long de la route 117 dans l'ouest du Québec : perspectives issues des travaux de terrain et de la géochronologie U/Pb

**Christopher Lambert, Félix Gervais (Polytechnique), Abdelali Moukhsil (MERN), Jim Crowley (Boise State University)**

La Province de Grenville est subdivisée en une Ceinture allochtone (CA) composée de roches péricratoniques à exotiques qui se sont accrétées à la Laurentie et ont été déformées durant la phase d'Ottawa (1090-1020 Ma) de l'Orogène grenvillienne, ainsi que d'une Ceinture parautochtone (CP) composée de roches cratoniques et de leur recouvrement sédimentaire qui ont été remaniés durant la phase de Rigolet (1000-960 Ma). La CA est juxtaposée au-dessus de la CP le long de la Zone de charriage de l'Allochtone (ZCA), une structure continue régionalement. La géodynamique de l'Orogène grenvillien est un sujet d'intérêt, les récents modèles conceptuels le considérant comme un orogène long et chaud avec des phases de fluage chenalisé sous une croûte orogénique très épaisse.

Dans l'ouest du Québec, l'architecture de la Province de Grenville n'est pas bien définie, l'emplacement de la ZCA demeure incertain et les modes de déformation respectifs restent à déterminer.

Nos travaux de terrain d'un transect de la route 117 nous ont permis de raffiner la subdivision proposée antérieurement en domaines tectono-métamorphiques distincts, comprenant du NW au SE : la zone de charriage du Front de Grenville (ZCFG), le terrain du réservoir Dozois et le promontoire de Baskatong. Un autre domaine, le terrain de Renzy, présente des caractéristiques géochimiques et isotopiques typiques de la CA. Fait intéressant, ce domaine principalement mafique est présent à des niveaux structurellement sus-jacents et sous-jacents et peut-être à l'intérieur même du terrain du réservoir Dozois.

Les datations U-Pb sur zircons provenant de dykes granitiques tardidéformation à syndéformation au sein de la ZCFG donnent exclusivement des âges archéens. Par contre, les datations de dykes felsiques tardidéformation à syndéformation qui coupent les roches fortement migmatitisées et les roches montrant des textures de déformation suprasolidus au sein du terrain du réservoir Dozois et du promontoire de Baskatong ont des âges entre 995 et 1000 Ma. Les dykes granitiques tardifs coupant des fabriques subverticales le long de la marge sud du promontoire de Baskatong sont âgés de 1015 Ma.

Les interprétations préliminaires de ces données révèlent que : 1) le remaniement grenvillien est cryptique ou absent au sein de la ZCFG; 2) le terrain du réservoir Dozois était une masse rocheuse riche en produits de fusion, en fluage, qui a probablement incorporé des roches mafiques plus rigides du terrain de Renzy sus-jacent lors de la phase de Rigolet; 3) la déformation ductile dans la section d'environ 6 km d'épaisseur de roches subverticales du promontoire de Baskatong est antérieure à 1015 Ma, de telle sorte que ces roches font partie de la CA.

## Évaluation du potentiel géothermique aux Îles-de-la-Madeleine

**Hubert Langevin, Félix-Antoine Comeau, Jasmin Raymond, Michel Malo (INRS-ETE)**

Situé au cœur du golfe du Saint-Laurent, l'archipel des Îles-de-la-Madeleine doit produire toute l'électricité nécessaire pour ses habitants en exploitant la plus importante centrale thermique au Québec. De plus, le mazout est la principale énergie utilisée pour le chauffage des bâtiments. Dans le but de diversifier l'approvisionnement énergétique et de réduire les émissions de gaz à effet de serre, Hydro-Québec a proposé un plan pour l'électrification de la municipalité (communiqué de presse du 25 mai 2018). Ce plan consiste à relier l'archipel au réseau hydro-électrique provincial par câbles sous-marins et à construire un micro-réseau énergétique basé sur les énergies renouvelables.

Notre recherche a pour objectif d'évaluer le potentiel de production de chaleur ou d'électricité géothermique aux Îles-de-la-Madeleine à partir de réservoirs géologiques profonds. À la suite d'une campagne d'échantillonnage effectuée en mai 2018, les propriétés thermiques et hydrauliques des unités géologiques présentes en surface et en profondeur ont été analysées en laboratoire. Ces paramètres ont ensuite été utilisés dans un modèle numérique conçu à l'aide d'interprétations de la géologie du sous-sol de l'archipel. Grâce aux mesures de température prises en fond de puits d'exploration pétrolière et gazière dans le golfe du Saint-Laurent, le modèle a été calibré en considérant un flux de chaleur représentatif de la région. La propagation de chaleur est alors analysée en deux dimensions pour définir les anomalies de température dans les unités géologiques correspondantes. Malgré un contexte géologique en marge passive, la région des Îles-de-la-Madeleine est composée d'une géologie favorable pour la propagation de la chaleur. Les dômes de sel qui y sont présents agissent comme des ponts thermiques où la chaleur circule plus rapidement. En effet, il y a un contraste de conductivité thermique entre l'halite ( $6,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) et les roches sédimentaires (entre  $2,0$  à  $3,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) en bordure de ces dômes. Ceci peut alors créer des anomalies de température au-dessus des dômes de sel pouvant atteindre  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Lorsqu'il y a un important contraste vertical de conductivité thermique entre le sel et les sédiments sus-jacents, les anomalies de température peuvent atteindre  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  à environ 5 km de profondeur.

Compte tenu de ces résultats, le potentiel de développement des technologies géothermiques est à considérer pour le plan énergétique proposé par Hydro-Québec. L'énergie géothermique pourrait être puisée à des profondeurs intermédiaires d'environ 3 km, selon le contexte géologique, et distribuée par des réseaux de chaleur urbains dans un contexte de microréseau énergétique afin de diminuer la consommation de mazout pour le chauffage des bâtiments.

## Sous-province d'Opatoca : nouveau territoire pour l'exploration minérale

Jérôme Lavoie (CONSOREM)

La zone d'étude est située dans la Sous-province d'Opatoca, qui fait partie de la Province du Supérieur. Trois ceintures majeures de roches volcano-sédimentaires y sont reconnues : 1) Frotet-Evans, 2) Haute Eastmain et 3) Moyenne Eastmain (Nemiscau). Elle comprend de nombreux indices et gîtes de métaux précieux, de métaux usuels et de substances non métalliques associés à une diversité de contextes métallogéniques. La majorité des minéralisations sont situées au sein des principaux métallotectes que sont les ceintures majeures. En dehors des ceintures de roches volcano-sédimentaires, la Sous-province d'Opatoca est constituée d'assemblages plutoniques métamorphisés. L'information géologique y est fragmentaire et ces terrains demeurent peu explorés.

À l'aide des données du SIGÉOM et des levés aéromagnétiques à haute résolution disponibles, notre objectif était de valoriser le potentiel minéral de la zone d'étude. La méthodologie développée comprenait trois étapes. La **première étape** est l'interprétation de l'anisotropie ou du rubanement magnétique sur la totalité de la zone d'étude. La **seconde étape** est de découper l'image du champ magnétique en domaines magnétiques présentant des textures uniformes. Six textures magnétiques ont été définies : 1) une texture rubanée, 2) une texture isotrope lisse (associée à des zones de bas magnétisme), 3) une texture isotrope chagrinée, 4) une texture annulaire circulaire, 5) une texture annulaire elliptique et 6) une texture lobée. La **troisième étape** est l'intégration des données du SIGÉOM aux deux nouvelles couches d'information pour produire une troisième couche portant sur l'interprétation des surfaces (polygones) de roches volcano-sédimentaires. Au total, la surface de roches interprétée, avec un degré de confiance de niveau 1 (c.-à-d. supporté par des stations d'observation) est de **278 km<sup>2</sup>**.

La réalisation du projet s'est faite par une approche pluridisciplinaire de compilation et de synthèse des données, ainsi que par une approche interprétative des données aéromagnétiques. Cette approche a permis : 1) le développement d'une méthodologie de base pour la production de cartes géologiques préliminaires à partir de trois couches d'information et 2) la détermination de plusieurs zones d'intérêt pour guider l'exploration dans des ceintures de roches volcano-sédimentaires, y compris dans la *Terra Incognita* de la zone d'étude. La méthodologie testée ciblait spécifiquement les roches volcano-sédimentaires, mais pourrait très bien être appliquée à d'autres types de roches, quel que soit le contexte géologique, et ailleurs au Québec, où l'information géologique est fragmentaire.

## Analyse discriminante par régression des moindres carrés partiels de la composition en éléments traces de l'or natif provenant de différents gîtes aurifères – Implications pour l'exploration minière

Haiming Liu, Georges Beaudoin (UL, E4m), Sheida Makvandi (COREM), Olivier Côté-Mantha (Mines Agnico Eagle), Émilie Bédard (UL, E4m)

Notre étude porte sur le potentiel d'utiliser la composition chimique de l'or natif comme indicateur pour discriminer les différents types de gîtes aurifères. La caractérisation géochimique de 453 grains d'or natif a été effectuée par microsonde électronique (EPMA) et par ablation laser et spectrométrie de masse au plasma à couplage inductif (LA-ICP-MS). Les échantillons provenaient de 45 gisements aurifères de calibre mondial et de prospectes de différents types, y compris des gîtes de type orogénique, des gîtes épithermaux et des sulfures massifs volcanogènes (SMV). De plus, la microscopie électronique à balayage avec spectroscopie par dispersion d'énergie (SEM/EDS) a été utilisée pour identifier les minéraux et pour caractériser les relations texturales entre l'or et les minéraux associés. Vingt-sept éléments ont été analysés par EPMA et/ou par LA-ICP-MS dans les particules d'or; par contre, seuls les résultats pour les éléments comportant > 40 % de valeurs censurées (S, Ti, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pd, Cd, Sn, Sb, Te, Pb et Bi) ont été utilisés dans le cadre de cette étude. Les données géochimiques ont fait l'objet d'une analyse discriminante par régression des moindres carrés partiels (PLS-DA) pour générer des modèles discriminants permettant de différencier les caractéristiques de la composition de l'or natif dans différents types de gîtes.

Les résultats de cette analyse discriminante montrent que les échantillons d'or des gîtes aurifères de type orogénique se distinguent de ceux des SMV et des gîtes épithermaux par des contributions positives en Ni, en S et en Cu et des contributions négatives en Sb et en Te. L'or des SMV riches en Au a des concentrations moyennes plus élevées en Pd, en Cd et en Sn et des teneurs plus faibles en Zn, en As, en Fe et en Ti que l'or des deux autres types de gîtes sous étude. Par contre, l'or des gîtes épithermaux est enrichi en Te, en Pb, en Zn et en Ti, mais appauvri en Pd, en Cu et en Ni. Les grains d'or portent les caractéristiques chimiques des fluides minéralisateurs issus de leur environnement géologique d'origine. Ainsi, l'enrichissement en Hg, en Bi, en Sb et en Te de l'or dans les SMV et les gîtes épithermaux concorde avec la composition des fluides issus de systèmes volcaniques. L'enrichissement en S, en Ni, en Cu, en Pd et en Zn de l'or dans les gîtes de type orogénique pourrait s'apparenter aux fluides minéralisateurs riches en CO<sub>2</sub> et à basse salinité qui sont associés aux ceintures orogéniques. Dans l'ensemble, cette étude révèle que le contenu en éléments en traces de l'or natif peut être utilisée comme outil d'exploration pour mieux cerner les différents contextes géologiques aurifères.

## Étude de la chaîne de valeur de la bioénergie forestière dans le contexte de la lutte aux changements climatiques au Québec

Ayaovi Locoh, Évelyne Thiffault (UL), Simon Barnabé (UQTR)

Dans sa Politique énergétique 2030, le Gouvernement du Québec vise une augmentation de 50 % de la production de bioénergie par rapport à 2013; il s'engage particulièrement à soutenir la production de bioénergie provenant de la biomasse forestière. Il est envisagé de produire de la chaleur par combustion directe de biomasse forestière en remplacement des carburants fossiles dans des bâtiments institutionnels et commerciaux. Cependant, une des principales barrières à l'adoption et au déploiement de la biomasse forestière est la complexité, réelle ou perçue, des systèmes bioénergétiques en matière de quantification des réductions d'émissions de GES et d'organisation de la chaîne de valeur (gestion de la production, stockage, distribution, mise en marché, recyclage). Cette étude tente de développer un outil de diagnostic environnemental, économique et social de la bioénergie forestière pour le chauffage, notamment des bâtiments institutionnels et commerciaux, pour évaluer la performance des projets de réduction des émissions de GES et le potentiel de développement économique et social au Québec. Dans un cas plus concret, l'étude caractérise les modèles types de chaînes de valeur de la bioénergie forestière, évalue l'impact sur la durabilité des modèles types de chaînes de valeur de la bioénergie forestière et analyse les systèmes d'hybridation bioénergétique. Une typologie des chaînes de valeur est élaborée à travers l'analyse des contenus; l'outil ToSIA (*tool for sustainability impact assessment*) est utilisé pour évaluer les retombées (positives ou négatives) de ces chaînes et le logiciel RETScreen Expert a servi d'outil d'analyse pour les systèmes hybrides maillant la bioénergie à d'autres sources d'énergie renouvelable. Au Québec, on distingue les chaînes de valeur de la bioénergie forestière suivantes :

- type IA, la production de chaleur est de 45 % de l'apport d'énergie;
- type IB, la différence par rapport au type IA est que les bûches sont achetées au prix courant;
- type II, la production de chaleur est de 75 % de l'apport d'énergie;
- type III, les rendements sont de 25 % pour l'électricité et de 60 % pour la production de chaleur.

Les indicateurs tels que la valeur ajoutée brute, les coûts de production, la productivité, l'emploi, les salaires, les accidents de travail, la consommation d'énergie, les émissions de GES et la pollution de l'air révèlent que l'utilisation de la bioénergie forestière a un impact positif et significatif sur la durabilité. Le projet livrera un outil diagnostique sous forme de tableur, en appui à la décision et adapté aux municipalités, peu importe leur taille.

## Métallogénie de l'or dans la Ceinture de roches vertes de la Haute Eastmain

Jonathan Marleau, Stéphane de Souza (UQAM), Anne-Marie Beauchamp, Frédéric Massei (MERN)

La Ceinture de roches vertes de la Haute Eastmain (CRVHE) fait partie de la Sous-province d'Opatoca et se situe à environ 350 km au NE de Chibougamau, dans la région d'Eeyou Istchee Baie-James. Elle est composée de roches volcaniques (Groupe de René) et sédimentaires (Groupe de Bohier) métamorphosées au faciès amphibolite. La CRVHE est l'hôte de la mine Eastmain qui a produit 40 000 oz d'or en 1994-1995 (teneur du minerai de 10,58 g/t). Le gisement, interprété comme étant symmétamorphique, comprend une veine principale de quartz-sulfures au sein d'une zone de cisaillement parallèle à la stratigraphie.

L'étude d'affleurements récemment décapés et de nouveaux forages dans le secteur de l'ancienne mine a permis de mettre en évidence l'existence de plus d'un événement responsable de la minéralisation aurifère. Un épisode de minéralisation volcanogène contemporaine aux roches volcaniques mafiques et felsiques encaissantes (2800 ± 6 Ma) est observé à l'indice Hillhouse. Cet indice comprend une lentille stratiforme de sulfures massifs aurifères (jusqu'à 55 g/t sur 0,7 m), au contact entre des basaltes coussinés et un tuf felsique. Dans la matrice du tuf, une zone d'altération à biotite-amphibole-carbonate qui est aussi aurifère (~2 g/t) s'étend jusqu'à 2 mètres en bordure de la lentille sulfurée. À proximité (~1 km), la présence d'importantes zones d'altération métamorphosées à cordiérite-biotite-fuschite-quartz-sulfures témoignent également d'une altération hydrothermale synvolcanique.

La description détaillée de cinq forages du gisement de la mine Eastmain (zone B) a permis d'identifier un niveau de chert à amphibole-grenat-magnétite-pyrrhotite atteignant 6 m d'épaisseur qui englobe la majeure partie d'une zone aurifère stratoïde. Ce chert à texture massive granoblastique à saccharoïdale contient des lamines de magnétite, d'amphibole et de grenat ainsi que des veinules de quartz ± sulfures ± tourmaline. On y trouve également des zones riches en pyrrhotite-pyrite-chalcopryrite et des traces de sphalérite. Dans l'éponte supérieure de la zone minéralisée, des niveaux à quartz-biotite-grenat (<2 m) et à amphibole-grenat sont respectivement interprétés comme des niveaux de roche métasédimentaire et, possiblement, de formation de fer silicatée. Bien qu'une partie de l'or contenu dans cette zone pourrait être syngénétique, nous favorisons un modèle épigénétique lié à la présence de veinules et d'un piège chimique et rhéologique favorable, représenté par le chert.

Le dernier épisode aurifère du secteur correspond à des filons de quartz à Cu-Au contenant des amas de pyrrhotite-pyrite ± chalcopryrite et recoupant la stratigraphie et la fabrique métamorphique principale (S<sub>1</sub>). L'étude minéralogique et géochimique en cours met en évidence un important contrôle stratigraphique sur la minéralisation aurifère.

## Géologie et potentiel minéral de la région du lac Watts, Domaine Nord, Fosse de l'Ungava, Nunavik

Guillaume Mathieu, Mélanie Beaudette (MERN)

Le levé géologique réalisé au cours de l'été 2018 dans la région du lac Watts initie un projet de cartographie à l'échelle 1/50 000 du Domaine Nord, dans la Province de Churchill, au Nunavik. Le Domaine Nord est un domaine lithotectonique énigmatique de l'Orogène de l'Ungava. Il chevauche au nord l'Antiforme de Kovik et l'Arc de Narsajuaq et au sud le Domaine Sud (ceinture de Cape Smith). La région cartographiée est composée principalement des intrusions mafiques à ultramafiques litées et des basaltes du Groupe de Watts. Cette séquence est interprétée comme l'une des plus anciennes lithosphères océaniques préservées (1998 Ma [Parrish, 1989]). Les écailles tectoniques de la bordure nord sont formées de roches métasédimentaires de la Formation de Nituk. Les roches métasédimentaires fortement déformées du Groupe de Spartan, surtout observées au sud du secteur, sont en contact faillé (Faille de Bergeron) avec les unités supracrustales volcaniques du Domaine Sud (Groupe de Chukotat).

Les travaux de l'été 2018 ont permis de mettre en évidence un potentiel pour des minéralisations magmatiques en Fe-Ti-V dans des intrusions mafiques litées et en Ni-Cr dans des intrusions ultramafiques, des minéralisations hydrothermales de Ni-Cu-(Au-EGP) associées à des roches ultramafiques et à des basaltes altérés ainsi que des minéralisations en sulfures massifs associées à des niveaux exhalatifs, tant dans les roches métasédimentaires du Nituk que dans les volcanites du Watts.

## Prévention et atténuation des émissions fugitives de résidus de bauxite : effet des conditions environnementales, prévision et évaluation des risques

Josée Maurais, Emrick Dauphinais, Céline Larivière-Loiselle, Étienne Beaumont, Étienne Morin, Alain Royer (UdeS), Nicolas-Alexandre Bouchard (Rio Tinto Alcan International), Patrick Ayotte (UdeS)

Les épisodes d'emportement de résidus de bauxite sont une source de préoccupation environnementale importante pour les sites de gestion de résidus miniers. Ces phénomènes prennent une ampleur problématique en saison hivernale, puisque les emportements de poussières modifient de manière significative les propriétés optiques de la neige. En outre, la grande variabilité des conditions météorologiques rend la prévision et la réduction des poussières fugitives ardues. L'emportement de poussières dépend grandement de l'accumulation de neige au sol, de la température, de l'historique des précipitations, de l'humidité relative, de la vitesse et de la direction du vent auxquels les résidus sont soumis, pour ne citer que quelques-uns des paramètres les plus critiques. Afin de contrer ce problème, une approche à trois volets a été mise en place. Premièrement, les données météorologiques archivées entourant les épisodes d'emportement de poussières ont été examinées afin de déterminer les conditions environnementales critiques. Une fois cette analyse complétée, une surveillance continue des conditions météorologiques sur le site de déposition de résidus de bauxite (SDRB) constituerait un outil de prévision fixe et soutenu. Deuxièmement, une étude approfondie des mécanismes fondamentaux au niveau microscopique des résidus de bauxite à différents taux de siccité a été prise en compte dans le processus de génération de poussières. La caractérisation des propriétés physico-chimiques (granulométrie, minéralogie, porosité) des résidus miniers a mis en évidence une corrélation entre les différentes populations de distribution de taille et la composition chimique de ceux-ci. L'échantillonnage *in situ* a permis de reconnaître les particules propices aux emportements, ce qui permet de mieux cibler les mécanismes nécessitant une étude approfondie. Troisièmement, les analyses par tomographie aux rayons X de la structure poreuse en 3D des résidus de bauxite ont été réalisées pour mieux comprendre l'impact du traitement des résidus miniers sur les cinétiques d'assèchement. En effet, les cinétiques complexes d'évaporation et de sublimation eau/glace dans les résidus mouillés selon les conditions environnementales ainsi que les microstructures des résidus de bauxite au travers des différents processus d'étalement, de compactage et de hersage seront décrites et étudiées afin de mieux les comprendre. À terme, les efforts déployés conjointement dans les différentes facettes du projet amélioreront la capacité du SDRB à prévoir et/ou à atténuer les emportements de poussières en fournissant des outils pour évaluer les indices de risque.

## Géologie et géochimie du système de Ni-Cu-(EGP) magmatique de Raglan-Expo, ceinture de Cape Smith, Nunavik, Québec

Dylan J. McKeivitt, C. Michael Leshner (Université Laurentienne), Michel G. Houlié (CGC-Q et Université Laurentienne)

Des roches mafiques et ultramafiques sous forme de dyke, de filon-couche et de coulée sont présentes à différents niveaux stratigraphiques du Domaine Sud, une séquence volcanosédimentaire chevauchée, plissée et faiblement métamorphisée de 30 à 40 km de large au sein de la ceinture de Cape Smith (CCS, 2,0-1,9 Ga), au Nunavik (Nord-du-Québec). Ces unités sont l'hôte de trois types distincts de minéralisation en sulfures magmatiques : une minéralisation en Cu-Ni-(EGP) en bordure et dans la quille des dykes de pyroxénite à olivine en baguettes et, en quantité moindre, de pyroxénite dans la partie médiane supérieure du Groupe de Povungnituk (gîtes Vaillant, Méquillon et Expo, le long de l'axe Expo); une minéralisation stratiforme en EGP-(Cu)-(Ni) dans des filons-couches différenciés de pyroxénite à olivine et de gabbro qui recoupent le Groupe de Povungnituk (gîte Delta); une minéralisation en Ni-Cu-(EGP) dans des chenaux de lave péridotitique et des coulées chenalisées en feuillets composées de pyroxénite à olivine, le long du contact entre les groupes de Povungnituk et de Chukotat (mine Raglan). Des chercheurs ont suggéré un lien lithologique et temporel entre ces unités. Comme leur recherche ne portait que sur des parties du système, le lien pétrogénétique n'a jamais pu être établi. De récentes données géochronologiques (U-Pb) ont permis de circonscrire le magmatisme des unités d'Expo-Ungava et de Katinniq à ~1882 Ma et appuient donc cette interprétation. Toutefois, de nouvelles observations de terrain jumelées aux données géochimiques disponibles révèlent que les unités de l'axe Expo proviennent de magmas moins magnésiens que ceux de l'axe Raglan et ne représentent pas nécessairement des conduits nourriciers pour les chenaux de lave et les coulées chenalisées en feuillets dans le secteur Raglan du système.

Ce projet a pour but d'établir les liens temporels et pétrogénétiques dans l'ensemble du système de conduits magmatiques minéralisés du secteur centre-est de la CCS. Des travaux de terrain ont été effectués sur une période de cinq semaines l'été dernier, couvrant une superficie d'environ 40 × 80 km. En tout, 171 échantillons représentatifs ont été prélevés dans les unités suivantes : dykes de pyroxénite à olivine-mélanogabbro de l'axe Expo; filons-couches différenciés de pyroxénite à olivine-leucogabbro de Povungnituk; filons-couches subvolcaniques et coulées gabbroïques de Povungnituk; filons-couches et coulées ultramafiques de l'axe Raglan; filons-couches subvolcaniques et coulées de pyroxénite-gabbro de Chukotat. Deux échantillons de gabbro pegmatitique (unités de Gulf et de Méquillon) ont été prélevés à des fins d'analyse géochronologique pour mieux circonscrire la mise en place de ces unités mafiques et ultramafiques. Les analyses pétrographiques et géochimiques à venir aideront à définir l'évolution du système de conduits magmatiques du secteur centre-est de la CCS.

## Combustion directe de métaux en poudre pour les applications à densité énergétique élevée

Michelle McRae, Philippe Julien, Jeffrey M. Bergthorson (McGill)

Comme l'une des premières causes des changements climatiques est la combustion de carburants fossiles, il devient de plus en plus apparent qu'un avenir vert passe par une transition vers des sources d'énergie sans empreinte carbone comme l'éolien, le solaire ou l'hydroélectricité. Lorsqu'elle est transportable, l'énergie provenant de ces sources dont l'emplacement est déterminé peut être partagée mondialement pour répondre équitablement à certaines des demandes énergétiques les plus importantes, notamment le transport des véhicules lourds et la génération d'électricité. Par conséquent, les chercheurs de partout sur la planète s'efforcent de développer des vecteurs énergétiques capables de stocker de l'énergie propre produite dans un endroit pour l'utiliser plus tard ailleurs. Parmi les nombreuses solutions proposées, l'hydrogène et les batteries demeurent les plus populaires. Les batteries sont déjà utilisées dans plusieurs applications à petite échelle, pour alimenter divers appareils allant du cellulaire jusqu'à l'automobile; toutefois, leur faible densité énergétique les rend peu pratiques pour alimenter les véhicules lourds, et encore moins pour transporter l'énergie sur de longues distances. À l'inverse, l'hydrogène a une densité énergétique par unité de masse qui est considérablement plus élevée que tout autre transporteur d'énergie proposé, même plus élevé que les carburants hydrocarbures traditionnels, mais sa densité énergétique par unité de volume est très faible. Pour un transport efficace, l'hydrogène doit être comprimé à des pressions élevées, ce qui génère des risques pour la sécurité en raison de sa nature explosive.

Des chercheurs du laboratoire des carburants alternatifs à McGill proposent l'idée que les métaux en poudre sont des transporteurs d'énergie idéaux puisque leur densité énergétique est comparable à celle des hydrocarbures. De plus, ils sont disponibles en abondance, non toxiques et sécuritaires lors du transport. L'utilisation de tels carburants peut se faire d'une façon cyclique : une fois extraits, les minerais métalliques peuvent être réduits en utilisant de l'hydrogène produit de façon durable par électrolyse de l'eau. Le carburant métallique est ensuite brûlé directement dans l'air, produisant de la chaleur qui peut être utilisée pour le chauffage de bâtiments résidentiels et institutionnels. Lorsque jumelé à une source de chaleur externe, un brûleur de carburant métal peut être utilisé en alternance pour générer tantôt un mouvement mécanique, tantôt de l'électricité. Fait encore plus important, le processus d'oxydation des métaux produit des oxydes de métaux solides qui peuvent être extraits des gaz d'échappement et recyclés. Ainsi, le cycle de réduction/oxydation du carburant métal est un cycle durable. Le fer est un candidat idéal pour les applications de combustion directe puisque sa production abondante internationalement est caractérisée par une grande diversité d'infrastructures d'exploitation minière et de transformation des métaux dont les sous-produits pourraient être utilisés comme carburant à faible coût et à faibles émissions nettes de gaz à effet de serre. De plus, le fer brûle de façon hétérogène à la surface des particules, produisant de grosses particules d'oxydes qui peuvent être efficacement recueillies à l'aide de séparateurs de type cyclone.

## Signature d'un gisement d'or dans le till à Amaruq (Nunavut) : échantillonnages distants du gisement

Alexandre Mendizabal, Georges Beaudoin (UL),  
Isabelle McMartin (CGC-O), Olivier Côté-Mantha,  
Marjorie Simard (Mines Agnico Eagle)

La propriété Amaruq de Mines Agnico Eagle, située au Nunavut (Canada), a été l'objet d'un levé de terrain et d'un échantillonnage de carottes de forage durant l'été 2018. Au total, 67 échantillons de till représentatifs ont été prélevés dans des ostioles parallèlement à la direction de l'écoulement glaciaire à des intervalles d'environ 250 m, le long de deux transects : le premier de 4 km à 8 km en aval du gisement d'Amaruq et le second jusqu'à 4 km en amont de celui-ci. De même, 50 échantillons représentatifs de la minéralisation et des différentes lithologies ont été prélevés de 26 forages. Les intervalles minéralisés ayant de forte teneur en or ou contenant de la tourmaline ont été privilégiés lors de l'échantillonnage. La signature des minéraux indicateurs des échantillons de forage servira à définir l'origine des minéraux érodés du gisement Amaruq.

Le socle rocheux de la propriété Amaruq fait partie du Groupe de Woodburn Lake, une ceinture archéenne de roches vertes. La minéralisation aurifère est associée à des roches mafiques à ultramafiques et à des roches sédimentaires (grauwacke, chert et formation de fer). Le gisement est couvert par des dépôts de surface de la dernière glaciation du Wisconsinien. Des témoins géologiques confirment l'érosion glaciaire du gisement et le transport de roches minéralisées. Les stries et cannelures observées sur le substrat rocheux témoignent des diverses directions d'écoulement des glaces. Trois types de till ont été définis : un till distal, un till proximal et un till hybride. Des sédiments fluvioglaciaires et des champs de blocs ont aussi été cartographiés.

L'analyse géochimique des minéraux indicateurs dans le till et la minéralisation sera réalisée par microsonde électronique et par ablation laser et spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif. La composition chimique des minéraux indicateurs provenant du gisement sera ensuite comparée à celle des grains des échantillons de till.

## Géologie et potentiel minéral de la région du lac des Commissaires, région du Lac-Saint-Jean

Abdelali Moukhsil, Yannick Daoudène (MERN)

Une nouvelle carte géologique de la région du lac des Commissaires (ouest de la Province de Grenville) a été produite à l'échelle 1/50 000 à la suite d'un levé réalisé au cours de l'été 2018. Les lithologies identifiées sont composées de roches métasédimentaires et volcaniques coupées par des intrusions mafiques à felsiques. L'âge de ces roches varie du Pinwarrien au Grenvillien (1,52 à 0,99 Ga), sauf dans le coin NE de la région où on observe des calcaires ordoviciens.

La région cartographiée est principalement constituée de plusieurs intrusions circulaires à elliptiques, felsiques à intermédiaires et moyennement à fortement magnétiques. Ces intrusions sont surtout de composition mangéritique et syénitique. Quelques-unes sont de composition anorthositique à leuconoritique. Elles peuvent contenir également des gabbro-norites, des gabbros et une quantité mineure de roches ultramafiques à oxydes de Fe-Ti-P ± V. Des séquences volcano-sédimentaires analogues à celles du Groupe de Montauban (1450 Ma) ont aussi été localement identifiées. Cette unité est bien connue au nord de Trois-Rivières, où elle est l'hôte de minéralisations en Zn-Pb-Ag-Au exploitées aux mines Montauban et Tétrault. Des roches intrusives felsiques à ultramafiques, cartographiées précédemment plus au sud (lac Borgia), ont également été reconnues dans la région du lac des Commissaires. Elles forment le Complexe de la Bostonnais (1380 Ma), la Suite plutonique de Pope (1352 ± 6 Ma) et la Suite de Roc (roches mafiques à ultramafiques, > 1012 ± 1 Ma). Dans la partie NE de la région cartographiée, les unités grenvilliennes sont surmontées par des séquences sédimentaires ordoviciennes du Groupe de Trenton et des Shales de Pointe-Bleue.

La quasi-totalité des unités mésoprotérozoïques de la région est affectée par une déformation très intense, qui s'exprime par une foliation variablement développée, une forte gneissosité ou un rubanement migmatitique plus ou moins prononcé. L'attitude de ces fabriques est très variable à l'échelle de la région cartographiée. Néanmoins, leur trajectoire définit une géométrie en dômes et en bassins, une architecture qui est le résultat d'un plissement régional polyphasé et de la mise en place de grandes intrusions elliptiques syntectoniques. Dans la partie orientale de la région cartographiée, un large corridor de déformation décrochant dextre, orientée N-S, recoupe l'ensemble des roches grenvilliennes. Les unités sédimentaires ordoviciennes ne sont pas déformées.

En plus des indices déjà connus, nos travaux révèlent l'existence de plusieurs zones favorables à l'exploration. Il s'agit en particulier de secteurs au potentiel de minéralisation en Fe-Ti-P ± V ou en Ni-Cu dans des roches intrusives mafiques et d'éléments de terres rares associés à des intrusions et des dykes syénitiques à granitiques. Parallèlement, des zones présentent des séquences de paragneiss riches en minéraux industriels (sillimanite et graphite), alors que d'autres sont propices à l'exploitation de pierres architecturales.

## Les bénéfices environnementaux d'une rénovation du parc de logements québécois valent-ils leur coût? Une analyse de cycle de vie conséquente

Marianne Pedinotti-Castelle, Miguel F. Astudillo (LIRIDE, UdeS), Pierre-Olivier Pineau (HEC), Ben Amor (LIRIDE, UdeS)

Le secteur résidentiel a un rôle majeur à jouer dans la transition énergétique. Le chauffage et la climatisation des bâtiments représentent 40 % de la consommation énergétique mondiale, alors que l'efficacité énergétique des bâtiments laisse à désirer. Compte tenu du faible taux de rotation du parc de logements et des objectifs ambitieux de réduction des émissions, le défi du secteur résidentiel dans la transition énergétique réside dans la modernisation des bâtiments existants. Nous avons étudié comment tirer le meilleur parti des rénovations dans le secteur résidentiel en utilisant des critères environnementaux et économiques. Au Québec, les systèmes de chauffage sont principalement alimentés par de l'électricité provenant de sources renouvelables. Nous proposons une approche basée sur une analyse du cycle de vie, se concentrant sur les impacts marginaux combinés au « coût du cycle de vie conséquentiel ». Sept scénarios utilisant divers systèmes de chauffage et différentes enveloppes de bâtiment ont été comparés à un modèle de référence (maison individuelle chauffée avec plinthes électriques). Cette approche a permis d'évaluer en parallèle la rentabilité et les impacts environnementaux des différentes solutions technologiques. Nos résultats montrent que l'énergie économisée à travers certains scénarios (en particulier pour les pompes à chaleur à air avec et sans amélioration de l'enveloppe du bâtiment) génère des avantages environnementaux et économiques considérables. De plus, si l'électricité économisée est exportée pour remplacer le gaz naturel, les économies locales en électricité sont très bénéfiques. Ces résultats fournissent de nouvelles informations clés sur les politiques énergétiques pour le secteur du bâtiment, en particulier dans les régions à climat froid, telles que le Québec.

## Transition énergétique : comment modéliser les bénéfices des ruptures comportementales?

Marianne Pedinotti-Castelle (LIRIDE, UdeS), Pierre-Olivier Pineau (HEC), Ben Amor (LIRIDE, UdeS)

Les politiques actuelles de lutte contre les changements climatiques échouent à mettre le Canada et le Québec sur une trajectoire compatible avec l'atteinte de leurs cibles (dont l'objectif est de limiter le réchauffement climatique à 2° C d'ici 2100). Les mesures envisagées aujourd'hui ne répondent pas à l'urgence de la situation : les solutions technologiques envisagées sont insuffisantes et trop chères pour mener une transition énergétique en temps et en heure. Par ailleurs, les changements dans les comportements humains sont peu intégrés, voire pas du tout, dans les politiques envisagées, alors qu'ils permettraient de réduire le coût de la transition. Nous proposons dans cette étude l'intégration de ruptures comportementales dans le modèle énergétique NATEM (*North American TIMES Energy Model*). Le NATEM est un modèle d'optimisation de systèmes énergétiques, dont les optimisations sont basées sur la minimisation des différents coûts des technologies, en tenant compte des demandes énergétiques finales, des ressources physiques et des limites fixées par les politiques énergétiques. Cette étude propose trois moyens de mettre en place des ruptures comportementales dans le modèle : modélisation d'une rupture dans la consommation (réduction de la demande énergétique finale), modélisation d'un déplacement de la demande (permettre à un consommateur de modifier sa manière de consommer), introduction d'un large éventail de choix technologiques (grâce à l'introduction de technologies de rupture). Notre but est de quantifier à quel point les changements dans les comportements humains peuvent avoir un impact sur la transition énergétique d'une région. Les résultats préliminaires obtenus dans le domaine des transports suggèrent la complémentarité des ruptures technologiques et comportementales. L'optimisation confirme qu'une rupture technologique seule ne suffit pas à atteindre les objectifs environnementaux et, de la même manière, qu'une rupture comportementale seule dans les transports modifie la manière de consommer, mais ne permet pas d'atteindre les objectifs sans soutien technologique.

## Caractérisation structurale de la Sous-province de Nemiscau, région du lac des Montagnes : implications sur le modèle tectonique

Rocío Pedreira Pérez, Alain Tremblay (UQAM), Yannick Daudene, Daniel Bandyayera (MERN)

La Sous-province métasédimentaire de Nemiscau est un domaine lithotectonique parmi les moins bien connus de la Province du Supérieur. Malgré ce manque de connaissances, le Nemiscau est perçu comme étant l'extension occidentale de la Sous-province d'Opinaca, ou encore l'extension orientale des sous-provinces de Quetico et d'English River, en Ontario. Les modèles tectoniques proposés pour ces dernières, généralement attribués à un contexte de collision-subduction, ont parfois été extrapolés au Nemiscau. Certains auteurs ont ainsi avancé que les roches du Nemiscau (et de l'Opinaca) pouvaient représenter les vestiges de prismes d'accrétion ou d'anciens bassins arrière-arc.

La Sous-province de Nemiscau est un ensemble de roches métasédimentaires et de roches intrusives felsiques à intermédiaires, variablement migmatitisées et déformées. Des lambeaux de roches mafiques sont localement présents. Dans la zone d'étude, les unités métasédimentaires et intrusives ont été métamorphosées aux faciès des granulites et des amphibolites. Vers le nord et le sud, le Nemiscau est délimité respectivement par les sous-provinces gneisso-plutoniques de La Grande et d'Opatoca. La nature des contacts entre le Nemiscau et ces unités est demeurée imprécise jusqu'au début des levés géoscientifiques du MERN en 2015. Les travaux de cartographie du MERN ont permis de définir ces contacts comme représentant des zones de cisaillement soulignées par des bandes de roches volcano-sédimentaires métamorphosées aux faciès des amphibolites.

Les travaux de terrain de l'été 2018 visaient à caractériser la structure dans la zone d'étude. Plusieurs phases de déformation y ont été reconnues, mais la succession de ces phases est différente d'un secteur à l'autre : 1) dans le secteur des lacs Champion et des Montagnes, le grain structural régional est NE-SW, au moins deux événements de déformation y ont été identifiés et la superposition de ces événements génèrent des interférences de plis d'envergure régionale; 2) dans le secteur du lac Nemiscau, deux phases de déformation sont observées, toutes deux orientées E-W, qui reprennent les fabriques NE-SW du secteur des lacs Champion et des Montagnes; 3) une fabrique « tardive » est présente dans l'ensemble de la zone d'étude, s'exprimant sous la forme d'un clivage de crénulation généralement orienté N-S.

La cinématique en décrochement des contacts entre le Nemiscau et les sous-provinces adjacentes et des principaux corridors de déformation qui l'affectent pourrait s'expliquer par divers modèles d'évolution orogénique. Ces derniers devront cependant fournir une explication viable quant au mode d'enfouissement des roches du Nemiscau, jusqu'au faciès des granulites, et de leur exhumation subséquente, explication qui considérera également une phase de déformation régionale à la cinématique postérieure principalement en décrochement.

## Géologie de la région de Barraute (32C05-NE), Abitibi

Pierre Pilote, Jonathan Marleau, Jean David (MERN), Réal Daigneault (CERM-UQAC), James Moorhead (MERN)

Ce projet comprend la cartographie et la compilation à l'échelle 1/20 000 de la région de Barraute (feuille 32C05-200-0202). Le socle rocheux est constitué d'unités d'âges néoarchéens : 1) roches volcaniques de compositions mafiques à felsiques (Formation de Landrienne, Formation de Deguisier et Groupe de Figuery supérieur), 2) roches sédimentaires (Formation de Fiedmont) et 3) roches intrusives (plutons de Barraute et de Carpentier; Batholite de La Corne, tarditectonique à post-tectonique, 2681-2642 Ma). Comme les affleurements présentent une densité extrêmement faible et une distribution très inégale en raison de l'importante couverture de dépôts du Quaternaire, les données de forages et les levés aéromagnétiques ont grandement contribué à l'élaboration de la carte géologique. La structure dominante de cette région est la Faille de Destor-Porcupine-Manneville, un chevauchement caractérisé par la présence de nombreux anticlinaux et synclinaux orientés ESE-WNW. Ce chevauchement est bordé et découpé, entre autres, par les failles d'Aiguebelle, d'Abcourt et de Lyndhurst, orientées E-W à ESE-WNW et à pendage modéré à abrupt vers le nord. Ces failles rejoignent et s'imbriquent dans les couloirs de déformation d'Uniacke et de Jolin. Certaines de ces failles ont été réactivées lors de l'épisode de déformation Destor-Porcupine. Plusieurs indices aurifères sont présents en bordure de ces failles.

## Metal Earth : vers une réévaluation pluridisciplinaire des modèles de genèse des gisements métallifères précambriens

**Benoit Quesnel, Christophe Scheffer, Georges Beaudoin, Crystal LaFlamme, Carl Guilmette, Christian Dupuis (UL)**

Le programme Metal Earth est un programme ambitieux de recherche en géologie des ressources minérales regroupant un consortium de 25 chercheurs canadiens et internationaux actifs dans les secteurs universitaire, public ou industriel. L'originalité de Metal Earth tient à la volonté d'étudier aussi bien les zones minéralisées que les zones stériles afin de déterminer les paramètres généraux influençant la localisation de la minéralisation. À ce jour, les treize zones d'étude définies, réparties d'est en ouest au sein de la Province du Supérieur, ont fait l'objet d'une quinzaine de projets de maîtrise et de doctorat.

L'équipe de l'Université Laval s'implique dans différentes études afin de comprendre la circulation des fluides crustaux, vecteurs indispensables au lessivage, au transport et à la concentration des métaux, en plus de contribuer à la compréhension des environnements géodynamiques favorables à la formation de gîtes minéraux et à leur détection en profondeur. Nos premiers travaux porteront sur l'étude des veines et des roches métasomatisées, témoins de la circulation de fluides le long de discontinuités structurales. L'étude de leur composition isotopique ( $d^{18}O$ ,  $\delta D$ ,  $d^{13}C$ ,  $d^{34}S$ ,  $D^{33}S$ ) permettra de déterminer l'origine des fluides, leur température et l'intensité des interactions fluides-roches et d'estimer les flux de fluide. L'intégration de ces données au contexte géologique permettra de générer des modèles de circulation des fluides pertinents.

Une première campagne d'échantillonnage le long de cinq transects étudiés par l'équipe de Metal Earth (Malartic, Rouyn-Noranda, Larder Lake, Geraldton-Onaman, Stormy-Dryden) a été menée afin d'établir, à grande échelle, la variabilité de premier ordre de la composition des fluides hydrothermaux. Les échantillons ont été prélevés dans des veines de différentes minéralogies, situées dans des unités géologiques variées, tant à l'intérieur qu'en dehors des zones de déformation majeure et dans des contextes minéralisés ou non. Le second projet, dans le secteur d'Astoria-Bouzan, a pour objectif de déterminer, à une échelle plus locale (profil est-ouest de 11 km), la variabilité de composition des fluides, leurs interactions avec les roches encaissantes et les flux au sein de la Zone de déformation de Larder Lake-Cadillac, entre des secteurs aurifères (Astoria) et pauvres en minéralisation aurifère (Bouzan). Il s'agit d'établir si de telles variations seraient susceptibles d'expliquer la distribution irrégulière de la minéralisation aurifère à l'échelle kilométrique.

## Projet de cartographie des dépôts de surface des régions de Laval, des Laurentides et de Lanaudière : résultats préliminaires

**lyse Randour, Robert-André Daigneault (UQAM)**

Le quatrième volet du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES), financé par le MDDELCC, a été entrepris en 2017 dans les régions de Laval, des Laurentides et de Lanaudière afin d'améliorer la connaissance sur la géologie du Quaternaire d'un territoire densément peuplé.

Le territoire à l'étude en 2018 couvre approximativement 11 feuillets SRNC à l'échelle 1/50 000 qui ont été l'objet de divers travaux par le passé. Ainsi, la cartographie des feuillets 31J07, 31J08 et 31J01 par le Service des inventaires forestiers entre 1993 et 1995 a été validée par des travaux de terrain. La cartographie du feuillet 31H13 par Tremblay en 1977 et du feuillet 31G16 par Bélanger en 1997 de même que la compilation des feuillets 31H14 et 31I03 par Gaucher en 1984 ont été mises à jour. Quant aux feuillets 31G09, 31G08, 31H12 et 31H05 par Bolduc et Ross en 2001, la cartographie a été simplement uniformisée en fonction de la légende utilisée pour les cartes de dépôts de surface des projets PACES réalisés dans le sud du Québec.

À la suite de la photo-interprétation préliminaire réalisée en mai, les travaux se sont poursuivis sur le terrain de juin et d'août 2018. Deux équipes regroupant du personnel des départements de géographie et des Sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQAM ont procédé à la validation de cette photo-interprétation. Près de 1700 sites ont été visités et 142 géofiches du MERN ont été remplies lorsque les sites présentaient, notamment, une succession d'unités stratigraphiques. La photo-interprétation finale a été entreprise cet automne à l'aide des logiciels Summit Evolution (DAT-EM, v. 7.4) et ArcGIS (ESRI, v. 10.5). Les cartes finales et le rapport seront disponibles d'ici fin avril 2019.

Trois grands processus suivant la déglaciation ont été observés : 1) mise en place de dépôts fluvioglaciers et glaciolacustres dans les régions des Laurentides et de Laval, 2) transgression de la Mer de Champlain et 3) transition vers les eaux douces du Lac Lampsilis.

Les dépôts fluvioglaciers sont associés au système morainique de Saint-Narcisse (GxT) autour de Saint-Jovite, aux nombreux épandages subaériens (Go) qui remplissent les vallées et aux épandages subaquatiques (Gs) mis en place dans les lacs ou la Mer de Champlain. Le territoire à l'étude a été largement ennoyé par la Mer de Champlain; de nombreux deltas (MGd) et crêtes de plages (MGb) témoignent de cet épisode. Des sédiments et des terrasses associées au Lac Lampsilis sont également présents sur le territoire.

## Apports de la géochimie et de la géologie à l'évaluation du potentiel en hydrocarbures du Témiscouata (Bas-Saint-Laurent)

Marc Richer-LaFlèche (INRS-ETE)

Le Témiscouata, au sein du bassin sédimentaire des Appalaches (Bas-Saint-Laurent-Gaspésie), est une région relativement méconnue et jusqu'à présent largement inexplorée pour son potentiel en hydrocarbures. L'état des connaissances y est moindre que dans le reste du bassin de la Gaspésie. La région est traversée par la Faille de Témiscouata qui sépare les terrains cambro-ordoviciens et siluriens au nord-ouest des terrains dévoniens au sud-est. Les roches dévoniennes de la Formation de Témiscouata comprennent des mudslates, des siltstones et des grès. Les roches situées au nord-ouest de la Faille de Témiscouata sont de nature plus variée. En raison de la présence de failles, de plis et de discordances, le secteur nord-ouest regroupe des roches du Cambrien (volcanites du Groupe de Caldwell, roches sédimentaires des groupes de Trinité et de Rosaire), de l'Ordovicien (siltstones, shales et wackes du Groupe de Cabano), du Silurien (formations de Robitaille, de Pointe-aux-Trembles, de Val-Brillant) et du Siluro-Dévonien (formations de Touladi et de Lac Croche). Afin d'évaluer le potentiel en hydrocarbures de la région, nous avons procédé à des levés pédogéochimiques de gaz (C1 : méthane, C2 : éthane, C3 : propane, C4 : butane). Au total, 3264 échantillons ont été prélevés. Ces échantillons sont répartis de Pohénégamook jusqu'à la réserve faunique de Rimouski. La composition et la distribution spatiale des gaz obtenues indiquent la présence de domaines hautement anomaux, caractérisés par la présence de fortes concentrations en hydrocarbures C1-C4 dans les sols. Les rapports de concentrations des hydrocarbures C1-C4 montrent que les gaz mesurés dans les sols sont surtout thermogéniques. Les rapports méthane/(éthane + propane) et éthane/propane semblent indiquer la présence de réservoirs riches en méthane et en condensats. Les domaines anomaux en hydrocarbures C1-C4 se trouvent au nord du village de Saint-Eusèbe, dans la partie nord de la ZEC Owen et à l'extrémité sud de la réserve faunique de Rimouski. D'après ces résultats, la région du Témiscouata pourrait contenir des gîtes de gaz naturel (avec condensats) de type conventionnel. Les sites propices à la présence d'hydrocarbures se trouvent surtout sur des terres publiques et à une grande distance de zones habitées. La mise en valeur de cette ressource pourrait être d'une grande utilité pour les industries acéricole et forestière, pour les municipalités de la MRC de Témiscouata et de Rimouski-Neigette et pour les réseaux de distribution du gaz naturel du Québec, du Nouveau-Brunswick et du Maine.

## Apports de la géophysique à l'évaluation du potentiel en hydrocarbures du Témiscouata (Bas-Saint-Laurent)

Marc Richer-LaFlèche (INRS-ETE)

Les travaux d'exploration menés au Témiscouata visaient l'identification de réservoirs de gaz naturel de type conventionnel. Au cours de la première phase du programme d'exploration, une approche multidisciplinaire combinant la géophysique, la géologie et la géochimie de surface a été choisie pour évaluer le potentiel de la région du Témiscouata. L'étude, financée par JAG Mines et OItra, devait vérifier si les conditions géologiques générales avaient rendu possibles la présence et l'accumulation d'hydrocarbures dans cette partie du Bas-Saint-Laurent. Le volet géophysique du programme consistait en des levés gravimétriques (2390 stations), radiométriques gamma et audio-magnétotelluriques. L'objectif premier du levé gravimétrique était de définir des creux gravimétriques reliés à l'épaississement des roches sédimentaires. Dans de nombreux bassins producteurs d'hydrocarbures, ces zones d'épaississement dans des séquences sédimentaires sont communément liées à un plus fort potentiel en hydrocarbures. À l'opposé, les hauts gravimétriques témoignent d'un amincissement des bassins sédimentaires et d'une remontée relative du socle précambrien. Dans la région du Témiscouata, un énorme creux gravimétrique, orienté NE-SW et d'une dimension de 54 km par 18 km (intégration verticale de l'anomalie de Bouguer), est centré sous les roches dévoniennes de la Formation de Témiscouata et sur celles du Groupe de Cabano. La majorité des valeurs anormales en hydrocarbures C1-C4, observés dans les sols de la région, sont situées au-dessus du creux gravimétrique régional. Le traitement des données aéromagnétiques du MERN révèle également la présence d'un important creux magnétique d'une dimension semblable au creux gravimétrique. Les données radiométriques gamma, mesurées au sol, ont permis de produire des cartes des concentrations en K (% K), en uranium (ég U [ppm]) et en thorium (ég Th [ppm]). Les données du potassium et du thorium ont été utilisées pour améliorer la cartographie des lithologies locales et celles de l'uranium pour vérifier la présence d'anomalies reliées à la dégradation naturelle du méthane par les bactéries du sol (halos d'altérations réductrices). Les levés audio-magnétotelluriques visaient à préciser les caractéristiques structurales et géologiques le long de sections perpendiculaires au grain tectonique appalachien. La section de Saint-Eusèbe permet de visualiser la Faille de Témiscouata ainsi que la géométrie des unités de part et d'autre de celles-ci (roches dévoniennes au sud et ordoviciennes-siluriennes au nord). Dans un environnement géologique à fort pendage, avec des roches montrant de fortes anisotropies de vitesse sismique (alternances de shales, de siltstones et de grès), l'imagerie audio-magnétotellurique permet d'obtenir des informations peu bruitées et utiles pour l'exploration des hydrocarbures.

## Accélération de l'oxydation et passivation des sulfures dans des stériles miniers afin de réduire le potentiel de génération de DNC

Valérie Roy, Isabelle Demers, Benoît Plante (UQAT)

Lorsque l'eau de pluie ruisselle à travers une halde, certains stériles peuvent être générateurs de DNC (drainage neutre contaminé). Le DNC se produit quand un contaminant, à pH près de la neutralité, se trouve en concentration supérieure aux limites permises dans les eaux de lixiviation à la suite de l'oxydation des sulfures. Le contaminant peut aussi être adsorbé à la surface d'un minéral et être relâché dans les eaux plusieurs années plus tard, si les phases sorbées sont déstabilisées (lorsqu'ennoyées ou en conditions réductrices). Ce projet, en partenariat avec Rio Tinto Fer et Titane, étudie la possibilité d'accélérer l'oxydation des sulfures ou de les passiver afin de réduire leur potentiel de génération de DNC. Les concentrations en nickel des eaux de drainage des stériles de la mine Lac Tio dépassent parfois les normes, en raison de la pyrite nickélique présente dans un stérile composé majoritairement d'hémo-ilménite et de plagioclase calcique. Les essais au laboratoire comprenaient des essais en mini-cellules et en colonnes afin de déterminer le potentiel de réduction du DNC de différents agents d'oxydation et de passivation. Le peroxyde d'hydrogène et le silicate de sodium sont les principaux agents testés, seuls ou combinés, avec ou sans tampon de carbonate de sodium. Une fois traités, les stériles étaient rincés régulièrement avec de l'eau déionisée pour déterminer les taux de réaction des sulfures et la lixiviation du nickel. L'agent ayant été le plus efficace est une solution de 0,3 M de peroxyde d'hydrogène tamponnée avec 0,1 M de carbonate de sodium, a permis de réduire le taux de lixiviation du nickel de 0,002 mg Ni/kg/jour à 0,00003 mg Ni/kg/jour en colonnes de 70 kg de stérile, tout en conservant un pH près de la neutralité. Cette solution a été testée sur une parcelle expérimentale à la mine Tio. Un arrosage à l'eau potable a permis de récolter des échantillons de lixiviat afin d'en analyser la composition chimique. Des observations au microscope optique et au MEB (microscope électronique à balayage) viendront appuyer les résultats obtenus en laboratoire et sur le terrain. Les résultats seront compilés et analysés afin de déterminer l'impact de l'accélération de l'oxydation et de la passivation sur la réduction du potentiel de génération de DNC à travers la production d'une analyse de cycle de vie. Finalement, ce projet permettra d'offrir une nouvelle approche de réduction du potentiel de génération de DNC provenant de stériles faiblement sulfureux.

## Efficacité des ferrates solides pour le traitement de l'As (III) dans un effluent synthétique fortement contaminé

Thana Saffar, Marouen Jouini, Lucie Coudert, Carmen Mihaela Neculita (IRME UQAT-Polytechnique)

Les sources d'arsenic (As) dans l'environnement sont principalement liées à l'exploitation minière des gisements aurifères et à l'industrie de préservation du bois. Le traitement des minéraux sulfurés contenant de l'arsénopyrite peut générer des effluents fortement contaminés en As (jusqu'à 10 g/l). Cette problématique justifie le développement de nouvelles approches de traitement. Afin de répondre aux exigences environnementales du Québec (< 0,2 mg/l As; Directive D019), une gestion écoresponsable de ces effluents constitue un véritable défi et demeure d'une importance cruciale pour l'industrie minière. Parmi plusieurs technologies disponibles pour le traitement de l'arsenic, les procédés d'oxydation avancée (POA) par les ferrates [Fe (VI)] semblent prometteurs, car ils favorisent la coprécipitation de Fe-As par les précipités de Fe générés *in situ*. Cette approche, en plus de précipiter l'arsenic, pourrait limiter l'impact environnemental potentiel de ce métalloïde par oxydation de l'arsénite [As (III)]; forme toxique, très soluble dans le drainage minier acide [DMA] en arséniate [As (V), forme stable]. L'objectif principal de cette étude était d'évaluer l'efficacité de l'enlèvement de l'As (III) dans un effluent synthétique par Fe (VI) solides. Pour ce faire, un effluent synthétique avec une concentration en As (III) de 1 g/l a été préparé, à un pH basique de 10,5. Trois différents rapports molaires de Fe/As (0,5/1, 1/1 et 1,5/1) ont été testés sur cet effluent. Le pH et le potentiel d'oxydoréduction ont été mesurés avant et après l'ajout des Fe (VI) solides. Ensuite, un ajustement de pH a été effectué sur le lixiviat traité, avant et après la séparation des boues générées durant le traitement, afin d'évaluer l'effet de l'acidification sur le relargage de l'arsenic. Les teneurs résiduelles en arsenic dans les lixiviats ont été quantifiées par ICP-AES. Les résultats préliminaires montrent que pour un ratio Fe/As équimolaire de 1/1, l'arsenic résiduel est respectivement de 857 et de 126 mg/l, avec et sans aucun ajustement du pH (pH initial de 10 et un pH final de 8). Ces résultats indiquent que les Fe (VI) solides augmentent le pH de l'effluent et coprécipitent l'arsenic. L'optimisation des rapports molaires est en cours afin d'éviter l'ajout d'un excès de Fe (VI). Finalement, des essais sur des effluents réels seront réalisés pour valider l'efficacité de cette technologie de traitement dans un contexte minier et évaluer la stabilité des boues générées.

## La pierre architecturale exploitée au Québec

### N'golo Togola (MERN)

De nombreuses carrières de pierre architecturale sont exploitées au Québec. Les principaux types de roches qui s'y trouvent comprennent :

- des roches ignées (anorthosite, mangérite, farsundite, jotunite, granite) pour la production de pierre dimensionnelle;
- des roches métamorphiques (gneiss, paragneiss) pour la production de pierre dimensionnelle;
- de la stéatite, de la pierre à savon et de la serpentinite pour la sculpture et la production de plaques réfractaires;
- des ardoises pour la production de tuiles de toiture et de pierre d'aménagement paysager;
- des calcaires, des grès, des marbres et des schistes pour la production de pierre dimensionnelle et de pierre d'aménagement paysager.

La production de pierre architecturale provient essentiellement de carrières situées dans la partie méridionale du Québec.

Le secteur de Rivière-à-Pierre (Portneuf) constitue la principale zone d'extraction de pierre dimensionnelle au Québec. Parmi les autres sites importants d'exploitation de la pierre architecturale, mentionnons les secteurs de Saint-Nazaire, de Chute-du-Diable et de Chute-des-Passes (Lac-Saint-Jean), de Stanstead (Estrie) et de Saint-Alexis-des-Monts (Mauricie). Dans le secteur de Rivière-à-Pierre (Portneuf), les roches exploitées sont des farsundites, des mangérites et des mangérites quartzifères de la Suite plutonique de Rivière-à-Pierre. Dans les secteurs de Saint-Nazaire, de Chute-du-Diable et de Chute-des-Passes, (Lac-Saint-Jean), les roches exploitées comprennent des anorthosites, des norites, des leuconorites et des leucotroctolites qui font partie de la Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean. Dans la région de Saint-Alexis-des-Monts (Mauricie), la roche exploitée est une mangérite quartzifère porphyrique du Massif de Saint-Didace. Dans le secteur de Saint-Sébastien (Estrie), la roche exploitée est un granite de l'intrusion plutonique de Saint-Sébastien-Sainte-Cécile. Dans le secteur de Saint Armand (Estrie), la roche extraite est une calcilutite, provenant des formations de Strites Pond et de Wallace Creek.

Sur la Côte-Nord, les roches exploitées sont une anorthosite porphyrique de la Suite anorthositique de Rivière-Pentecôte (secteur de Rivière-Pentecôte) et une syénite à hypersthène de la Suite anorthositique de Havre-Saint-Pierre (secteur de Magpie). Dans le secteur de Métabetchouan (Lac-Saint-Jean), la roche exploitée est un monzogranite porphyrique à phénocristaux de feldspath potassique de la Suite anorthosite de Lac-Saint-Jean. Dans le secteur de la Baie (Saguenay), la roche exploitée est une monzodiorite à hypersthène à texture porphyrique du Granite de La Baie. Dans le secteur du lac Scott (Réserve faunique des Laurentides), la roche exploitée est une monzodiorite à hypersthène du Complexe du Parc des Laurentides. Dans le secteur de Stanstead (Estrie), la roche extraite est une granodiorite gris moyen à gris clair associée à un pluton de granite. Dans le secteur de Saint-Marc-du-Lac-Long (Témiscouata), la roche exploitée est une ardoise gris foncé faisant partie d'un vaste assemblage d'ardoise, de siltstone et de quartzite assignés à la Formation de Témiscouata. Dans le secteur de Brompton (Estrie), la roche exploitée est une ardoise gris foncé, presque noire, de la Formation de Saint-Victor (Groupe de Magog). Dans le secteur de Danville (Estrie), la roche exploitée est une ardoise grise à gris noirâtre associée au Mélange de Saint-Daniel. Dans le secteur de Kingsbury (Estrie), la roche exploitée est une ardoise verte associée au Mélange de Saint-Daniel.

## Réactions métal-eau à haute température pour l'exploitation minière

Keena A. Trowell, Samuel Goroshin, David L. Frost, Jeffrey M. Bergthorson (McGill)

L'objectif de ce projet de recherche est de développer des systèmes de génération d'énergie aluminium-eau afin de produire de grandes quantités d'énergie sans émission de gaz à effet de serre ou d'autres émissions nocives. La transition vers des sources d'énergie autres que les carburants fossiles est reconnue comme un élément essentiel pour contrer les changements climatiques anthropiques. Les énergies éolienne, solaire et hydroélectrique font partie de la solution, mais ces énergies renouvelables sont converties en électricité. Bien qu'elles soient utiles dans plusieurs applications, les batteries ne peuvent fournir l'énergie requise par les industries lourdes comme les mines.

L'hydrogène est un combustible propre qui peut remplacer les carburants fossiles dans plusieurs applications; toutefois, le transport et l'entreposage d'hydrogène sur les sites miniers sont difficiles et dangereux. Nos recherches portent sur la production d'hydrogène en place et sur demande, en faisant réagir des métaux avec de l'eau.

L'aluminium, un métal prometteur pour un système de ce genre, est relativement facile et sécuritaire à stocker et à transporter. L'aluminium, agissant comme un carburant à densité énergétique élevée lors de la réaction d'oxydation, libère l'énergie stockée sous forme de chaleur et d'hydrogène. Les deux produits, chaleur et hydrogène, peuvent être utilisés par une turbine à gaz pour produire les grandes quantités d'énergie requises dans le cadre des opérations minières. Le sous-produit d'oxyde d'aluminium peut être recyclé au moyen d'énergie propre, permettant ainsi de boucler la boucle.

En outre, le fait de développer un tel système métal-eau ouvre pour le Québec une autre avenue pour l'exportation de ses abondantes ressources hydroélectriques. Le Québec possède déjà l'expertise et l'expérience en traitement et en recyclage de l'aluminium, en grande partie grâce au prix concurrentiel de son électricité. Lorsque l'aluminium est affiné en utilisant l'hydroélectricité, le métal, dans les faits, stocke cette énergie. Lorsqu'il réagit avec de l'eau, cette énergie stockée est libérée. Le stockage d'une énergie hydroélectrique propre sous une forme compacte à haute densité énergétique, comme dans l'aluminium, permet d'offrir de l'énergie hydroélectrique au-delà des marchés actuels qui ne sont accessibles que par l'entremise de lignes de transmission.

Le défi réside dans la maximisation du rendement à partir de poudres relativement grossières et dans l'obtention de taux de réaction élevés. Dans le cadre de notre étude, un appareil expérimental de réaction métal-eau à haute pression et à haute température a été conçu et testé. Les résultats préliminaires indiquent qu'il est possible d'atteindre les rendements et les taux de production d'hydrogène requis pour des applications nécessitant de forte puissance.

## Potentiel géothermique du cratère météoritique de Charlevoix

**Maria Isabel Velez, Jasmin Raymond (INRS-EET),  
Daniela Blessent (Universidad de Medellín)**

La transition énergétique associée au remplacement des combustibles fossiles par des sources d'énergie renouvelable est une étape indispensable au développement de notre société qui permettrait d'utiliser nos ressources naturelles plus efficacement. L'énergie géothermique issue de sources renouvelables possède de nombreux avantages environnementaux comme la réduction des émissions des gaz à effet de serre et la diminution de la consommation d'énergie conventionnelle pour le chauffage des bâtiments. Des travaux de recherche apparaissent toutefois nécessaires pour faire progresser le développement des ressources géothermiques profondes au Québec, dans des régions qui semblent favorables comme Charlevoix.

La région de Charlevoix comprend une zone affectée par un impact météoritique, l'Astroblème de Charlevoix. L'impact du météorite a créé une fracturation intense à l'intérieur du cratère, d'où la possibilité d'une meilleure circulation des eaux souterraines. De plus, la présence de roches isolantes dans la zone d'impact météoritique, telles que l'Anorthosite de Saint-Urbain, peut favoriser l'augmentation du gradient géothermique, soit des températures plus élevées en profondeur. Ces deux facteurs sont nécessaires pour l'exploitation des ressources géothermiques profondes.

Notre projet de recherche vise à déterminer le potentiel géothermique de la région de Charlevoix, située au nord-est de la ville de Québec. Une caractérisation approfondie des propriétés thermiques et hydrauliques des différentes formations géologiques dans le cratère, ainsi que l'étude des réseaux de fractures, servira de point de départ à l'élaboration de modèles numériques du réservoir géothermique. Les modèles seront utilisés pour prédire et analyser les régimes d'écoulement de chaleur et de son transfert au niveau de la sous-surface. Finalement, des simulations d'exploitation des ressources géothermiques évalueront le potentiel géothermique de la région. Les résultats obtenus contribueront à une meilleure compréhension du système géothermique afin de diminuer les risques lors de l'aménagement des puits qui peuvent atteindre de 2 à 3 km en profondeur. En outre, la méthodologie développée pendant le projet servira à améliorer les méthodes d'exploration des ressources géothermiques profondes à l'étape de préfaisabilité.

## Identification des minéraux indicateurs par $\mu$ XRF

**Laurène-Marie Wavrant, Georges Beaudoin,  
Carl Guilmette (UL)**

L'utilisation des minéraux indicateurs en exploration est contrainte par un processus de séparation long et complexe. En effet, les minéraux indicateurs sont généralement séparés à la main à partir de concentrés de minéraux lourds par des minéralogistes hautement qualifiés. L'utilisation des minéraux indicateurs étant de plus en plus courante en exploration, le développement d'une technique d'identification rapide et efficace de ces minéraux est donc devenu essentiel.

L'appareil M4 Tornado de l'entreprise Brüker permet d'obtenir des cartes élémentaires ainsi que des analyses semi-quantitatives par microfluorescence à rayons X ( $\mu$ XRF). L'étude des concentrés de minéraux lourds par  $\mu$ XRF permet d'identifier les minéraux indicateurs à partir de leur composition en éléments majeurs. Différents tests ont été réalisés sur des concentrés de minéraux lourds ainsi que sur des standards pour vérifier la capacité de l'appareil 1) à identifier les différentes phases minérales d'un concentré de minéraux lourds et 2) à quantifier les compositions en éléments majeurs des différentes phases minérales.

Les résultats obtenus ont mis en évidence la possibilité d'identifier les minéraux et d'estimer leurs compositions chimiques en éléments majeurs en vue d'utiliser ces données dans les graphiques discriminants. L'utilisation de la  $\mu$ XRF semble une méthode prometteuse pour l'identification des minéraux indicateurs d'échantillons de tills et d'autres sédiments superficiels. L'automatisation de l'identification des minéraux va aussi permettre de prévenir d'éventuels biais humains lors du processus de séparation des minéraux indicateurs et d'implanter des protocoles de contrôle de la qualité.

## ACRONYMES

*L'italique est utilisé pour la version anglaise*

*AFNQL : Assembly of First Nations of Quebec and Labrador*

*APNQL : Assemblée des Premières Nations du Québec et du Labrador*

*BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières, France*

*CERM-UQAC : Centre d'études sur les ressources minérales de l'Université du Québec à Chicoutimi*

*GERAD : Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions*

*CGC : Commission géologique du Canada*

*CGC-A : Commission géologique du Canada, Atlantique, Bedford Institute of Oceanography*

*CGC-O : Commission géologique du Canada, Ottawa*

*CGC-Q : Commission géologique du Canada, Québec*

*CNRC : Conseil national de Recherche Canada*

*COREM : Consortium de recherche en minéralogie*

*CONSOREM : Consortium de recherche en exploration minérale*

*E4M : Centre de recherche sur la géologie et l'ingénierie des ressources minérales, Université Laval*

*GSC: Geological Survey of Canada*

*GSC-A: Geological Survey of Canada – Atlantic, Bedford Institute of Oceanography*

*GSC-O: Geological Survey of Canada – Ottawa*

*GSC-Q: Geological Survey of Canada – Québec*

*HEC : HEC Montréal*

*IAMGOLD : IAMGOLD Corporation*

*INRS-ETE : Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau, Terre et Environnement*

*IOS : IOS Services Géoscientifiques*

*IRME UQAT-Polytechnique : Institut de recherche en mines et environnement UQAT-Polytechnique*

*LIRIDE : Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Ingénierie Durable et en Écoconception*

*McGill : Université McGill*

*McGill: McGill University*

*MERN : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles*

*NMX : Nemaska Lithium*

*NTS: National Topographic Series*

*Polytechnique : École Polytechnique de Montréal*

*SMV : sulfures massifs volcanogènes*

*UdeS : Université de Sherbrooke*

*UL : Université Laval*

*Memorial U. : Université Memorial de Terre-Neuve/Memorial University of Newfoundland*

*UQAC : Université du Québec à Chicoutimi*

*UQAM : Université du Québec à Montréal*

*UQAT : Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue*

*UQTR : Université du Québec à Trois-Rivières*

*USGS : United States Geological Survey*



